

PROJETO DE GRADUAÇÃO
PROJETO DE ANDAIME SUSPENSO
MOTORIZADO

Por,

Luiz Cezar Zacarias Filho

UNIVERSIDADE DE BRASILIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECANICA

PROJETO DE GRADUAÇÃO

PROJETO DE ANDAIME SUSPENSO MOTORIZADO

POR,

Luiz Cezar Zacarias Filho

Relatório submetido como requisito parcial para obtenção
do grau de Engenheiro Mecânico.

Banca Examinadora

Prof. Dianne Magalhães Viana, UnB/ ENM
(Orientadora)

Prof. Thiago de Carvalho Rodrigues Doca, UnB/
ENM (Coorientador)

Prof. Alberto Carlos Guimarães Castro Diniz, UnB/
ENM

MSc. Álvaro Campos Ferreira , UnB/ ENM

Brasília, 17 de julho de 2019

Dedico esse trabalho à minha família, luz da minha vida. Especialmente à mamãe Soraya, irmãs queridas e amadas Geovana e Juliana e ao papai Luiz, por sempre acreditarem em minha capacidade e sucesso.

Agradecimentos

Agradeço ao amigo e competente engenheiro Lucas Peres, sem os seus auxílios esse trabalho não seria possível, ao eng. Rafael Dutra que disponibilizou a empresa SOLID Equipamentos para os estudos. Aos meus orientadores Dianne Magalhães e Thiago Doca, por acreditarem no projeto. A Universidade de Brasília (UnB) por proporcionar uma formação ampla e multicultural aos seus alunos. Aos meus queridos colegas de residência Mateus e Tito, por ajudarem a aliviar o stress nos momentos mais críticos. Por fim agradeço a todas as demais pessoas que auxiliaram na execução desse projeto

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo o projeto estrutural de um andaime suspenso motorizado. Os andaimes possuem papel essencial na construção civil, propiciando o trabalho em níveis elevados. Através da avaliação dos equipamentos de acesso suspenso utilizados para o trabalho em fachadas buscou-se identificar algumas soluções existentes no mercado. Os componentes de um andaime suspenso foram explicitados e para o dimensionamento da plataforma adotou-se a metodologia disponível na NBR 8400. A partir do projeto conceitual foram elencados os requisitos do projeto e definidos os modelos conceituais a partir das máquinas disponíveis no mercado. Através das condições iniciais definidas foram verificadas as condições quanto à resistência à deformação do sistema e definidas características das peças utilizadas. Como resultado obteve-se uma plataforma de 2 metros de comprimento 80 cm de largura, peso próprio de 300 kg e carga nominal de 640 kgf, com custo aproximado de R\$ 9.600,00.

ABSTRACT

The present project aims at the structural design of the platform of a suspended scaffold. Scaffolding plays an essential role in civil construction, providing work at high levels. Through the evaluation of the suspended access equipment used for the work on façades, it was tried to identify some existing solutions in the market. The components of a suspended scaffold were explained and for the sizing of the platform the methodology available in NBR 8400 was adopted. From the conceptual design the project requirements were listed and the conceptual models defined from the machines available in the market. Through the defined initial conditions were verified the conditions regarding the resistance to deformation of the system and defined characteristics of the parts used. As a result, a platform 2 meters long, 80 cm wide, with its own weight of 300 kg and a nominal load of 640 kgf was obtained, with cost around R\$ 9.600,00.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	ASPECTOS GERAIS	1
1.2	PESQUISA NORMATIVA	2
1.3	OBJETIVO	2
1.4	RESULTADO DO PROJETO	2
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	3
2	TIPOS E APLICAÇÕES DE ANDAIMES	5
2.1	SOLUÇÕES PARA TRABALHO EM ALTURA	5
2.2	ANDAIME SIMPLEMENTE APOIADO	5
2.3	ANDAIME FACHADEIRO	6
2.4	ANDAIME EM BALANÇO	7
2.5	ANDAIME SUSPENSO MECÂNICO.....	8
2.6	ANDAIME SUSPENSO MOTORIZADO	9
2.7	CADEIRA SUSPensa	10
2.8	COMPONENTES DO SISTEMA	11
2.8.1	Plataforma	11
2.8.2	Mecanismo de acionamento	12
2.8.3	Sistema segurança	13
2.8.4	Sistema de controle elétrico	13
2.8.5	Ancoragem.....	14
2.9	MODELOS COMERCIALIZADOS	15
2.9.1	Andaime elétrico suspenso Aeroandaimes.....	15
2.9.2	Balancim elétrico ZUMAQ.....	16
2.9.3	Balancim Elétrico C3	17
3	PROJETO CONCEITUAL	18

3.1	REQUISITOS DE PROJETO	18
3.2	DETERMINAÇÃO DA GEOMETRIA ESTRUTURAL.....	19
3.2.1	DIMENSÕES.....	19
3.2.2	SISTEMA DE ACIONAMENTO.....	19
3.3	HIPÓTESES CONSIDERADAS.....	19
3.4	CLASSIFICAÇÃO DA ESTRUTURA	20
3.5	ESTADO DE CARGA.....	21
3.6	GRUPO DOS ELEMENTOS DAS ESTRUTURAS.....	21
3.7	COEFICIENTE DE MAJORAÇÃO.....	22
3.8	MATERIAIS SELECIONADOS.....	22
3.9	TENSÕES ADMISSÍVEIS.....	23
3.10	MODOS DE FALHA AVALIADOS	24
4	DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA.....	25
4.1	DIMENSIONAMENTO DO PISO	26
4.1.1	Dimensionamento da chapa de piso.....	27
4.1.2	Dimensionamento da barra de modulação do piso	29
4.2	PROJETO DO GUARDA-CORPO	35
4.3	PROJETO DO MÓDULO LATERAL	42
4.4	REAÇÕES NOS CABOS	49
5	ELEMENTOS MECÂNICOS	51
5.1	JUNÇÕES SOLDADAS.....	51
5.1.1	Piso.....	53
5.1.2	Guarda Corpo.....	54
5.1.3	Módulo da lateral	57
5.2	PARAFUSOS	58
5.2.1	Encaixe Guarda corpo e lateral	59
5.2.2	Fixação do motor	61
6	ACIONAMENTO E SEGURANÇA	63
6.1	SISTEMA DE ACIONAMENTO.....	63

6.1.1	Seleção do moto redutor	63
6.1.2	Cabos de aço	64
6.2	SISTEMA DE SEGURANÇA.....	64
6.2.1	Trava-quedas.....	64
6.2.2	Afastadores de cabos de aço	65
7	ANÁLISE DE CUSTOS.....	66
7.1	CUSTOS DE MODELOS COMERCIAIS	66
7.2	CUSTOS DO ANDAIME PROJETADO.....	67
7.2.1	Custo dos elementos estruturais.....	67
7.2.2	Custo da mão de obra.....	67
7.2.3	Custo dos componentes comerciais	67
7.2.4	Custo total do equipamento.....	67
7.3	COMPARAÇÃO COM MODELOS COMERCIAIS	68
8	CONCLUSÃO	69
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70
	ANEXOS.....	73

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1 - Plataforma do andaime suspenso projetada	3
Figura 2-1 - Andaime simplesmente apoiado [6].	6
Figura 2-2 - Andaime simplesmente apoiado móvel [7].	6
Figura 2-3 - Andaime fachadeiro [9].	7
Figura 2-4 - Andaime em balanço [10].	8
Figura 2-5 – Andaime suspenso mecânico [11].	9
Figura 2-6 - Andaime suspenso motorizado.	10
Figura 2-7 - Cadeira Suspensa [12].	11
Figura 2-8 - Figura esquemática módulos da plataforma [13].	12
Figura 2-9 - Sistema de tração do andaime suspenso.	12
Figura 2-10 - Sistema trava de segurança.	13
Figura 2-11 - Quadro comando elétrico [14].	14
Figura 2-12 - Ancoramento com afastador [14].	15
Figura 2-13 - Ancoragem com viga e cavalete	15
Figura 2-14 - Balancim Elétrico Aeroandaimes [15].	16
Figura 2-15 – Balancim elétrico modelo ZBE 700 [13].	17
Figura 2-16 - Andaime suspenso motorizado C3	17
Figura 4-1 – Andaime suspenso motorizado projetado	25
Figura 4-2 - Estrutura do piso	27
Figura 4-3 - Definição das grandezas a e b na modulação do piso [20]	29
Figura 4-4 - Diagramas de esforços para a barra de modulação do piso	31
Figura 4-5 - Deflexão máxima na barra de modulação.....	32
Figura 4-6 - Tração e compressão para o grupo 3. [15].....	34
Figura 4-7 - Cisalhamento e pressão diametral para o grupo 3. [15].....	34
Figura 4-8 - Guarda corpo projetado	36
Figura 4-9 - Diagrama de carregamentos dos guarda-corpos	37
Figura 4-10 - Diagrama de esforço cortante no guarda-corpo	38
Figura 4-11 - Diagrama de momento fletor no guarda-corpo	39
Figura 4-12 - Deflexão máxima de 4,47 mm no guarda-corpo.....	39
Figura 4-13 - Diagrama de esforço normal no guarda-corpo, máximo 1,8 kN.....	40
Figura 4-14 - Diagrama de carregamentos do módulo lateral	43
Figura 4-15 - Diagrama de esforço cortante no módulo lateral	44

Figura 4-16 - Diagrama de momento fletor no módulo lateral	45
Figura 4-17 - Deflexão máxima de 0,19 mm no módulo lateral.....	46
Figura 4-18 - Diagrama de esforço normal módulo lateral.....	47
Figura 4-19 – Diagrama de corpo livre do andaime completo	50
Figura 5-1 - Garganta da solda de filete	52
Figura 5-2 - Regiões de aplicação de solda no piso.....	53
Figura 5-3 - Perfil da barra piso.....	53
Figura 5-4 - Regiões do guarda corpo.....	55
Figura 5-5 - Seção transversal barra guarda corpo	55
Figura 5-6 - Regiões de solda módulo lateral	57
Figura 5-7 – Seção transversal barra do módulo lateral	57
Figura 5-8 - Parafuso sextavado [21].....	59
Figura 5-9 - Regiões de junta aparafusada.....	60
Figura 5-10 - Indicação dos furos para fixação do motor.....	61
Figura 6-1 - Moto redutor ZUMAQ 1,5 cv [24]	63
Figura 6-2 - Trava-quedas mecânico [25].....	64
Figura 6-3 - Afastador metálico para andaime suspenso [25]	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-1 - Características do andaime projetado.....	3
Tabela 3-1 - Classe de utilização	20
Tabela 3-2 - Estado de carga.....	21
Tabela 3-3 - Classificação da estrutura do equipamento	22
Tabela 3-4 - Coeficiente de Majoração.....	22
Tabela 3-5 - Propriedade mecânica do aço A36	23
Tabela 3-6 - Tensões admissíveis à tração (ou compressão) simples.	23
Tabela 3-7 - Tensões normal e cisalhante admissíveis para o dimensionamento da estrutura.	23
Tabela 4-1 – Coeficientes α , β e γ para cálculo da espessura mínima da chapa [20]	28
Tabela 4-2 - Resultado do cálculo para a espessura do piso.....	29
Tabela 4-3 – Propriedades dimensionais do perfil de modulação do piso	30
Tabela 4-4 – Propriedades dimensionais do perfil horizontal dos guarda-corpos	36
Tabela 4-5 – Propriedades dimensionais do perfil para o módulo lateral.....	42
Tabela 5-1- Medidas e resistência de parafusos de aço [22].....	59
Tabela 7-1 - Orçamento balancim elétrico ZBE 700	66
Tabela 7-2 - Orçamento balancim elétrico C3 equipamentos.....	66
Tabela 7-3 - Orçamento balancim elétrico Aeroandaimes.....	66
Tabela 7-4 - Custo componentes comerciais	67
Tabela 7-5 - Custo do equipamento projetado.....	68
Tabela 7-6 - Comparação de características e custos.....	68

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolos latinos

A_{ST}	Área seção da transversal do perfil	[cm ²]
a	Distância longitudinal entre as barras de modulação	[cm]
b	Distância transversal entre as barras de modulação	[cm]
E	Módulo de elasticidade	[GPa]
J_x	Momento de Inercia	[cm ⁴]
J_y	Momento de inércia	[cm ⁴)]
l_{piso}	Comprimento do piso	[m]
M	Momento Fletor	[kN]
M_x	Coefficiente de majoração	
N	Esforço normal	[kN]
PP_{bagc}	Peso próprio barra de apoio do guarda corpo	[kN]
PP_{bm}	Peso próprio barra de modulação	[kN]
PP_{piso}	Peso próprio do piso	[kN]
q	Carga	[kN]
SC	Esforço de sobrecarga	[kN]
t	Espessura da chapa	[mm]
V	Esforço cortante	[kN]
W_y	Momento resistente eixo	[cm ³]
W_x	Momento resistente no eixo x	[cm ³]
y_{max}	Tamanho da flecha máximo	[mm]

Símbolos gregos

σ	Tensão normal	[MPa]
σ_a	Tensão normal admissível a tração ou compressão	[MPa]

σ_e, F_y	Tensão de escoamento	[MPa]
$\sigma_{fad,a}$	Tensão normal limite de fadiga admissível	[MPa]
τ_a	Tensão de cisalhamento admissível	[MPa]
$\tau_{fad,a}$	Tensão de cisalhamento de fadiga admissível	[MPa]

Siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CAD	Desenho Assistido por Computador
DCL	Diagrama de Corpo Livre
EPI	Equipamento Individual de Trabalho
NBR	Norma Brasileira
NR	Norma Regulamentadora
SAE	Suspended Access Equipment

1 INTRODUÇÃO

1.1 ASPECTOS GERAIS

A indústria da construção civil no Brasil vem se desenvolvendo de forma bastante acentuada nas diversas áreas em que atua. Afim de atender as demandas impostas pelo mercado, onde investidores e empresas requerem prazos e orçamentos reduzidos, há um esforço contínuo na busca por soluções inteligentes e equipamentos para suprir essas necessidades [1].

O revestimento de fachada compõe uma das etapas essenciais para a conclusão das obras no prazo determinado, sabendo de tal situação as empresas que fornecem os equipamentos de transporte vertical atuam na busca por soluções otimizadas para a execução do serviço. Em meio aos diversos equipamentos utilizados temos: andaimes tubulares, andaimes fachadeiros, andaimes em balanço, cadeiras suspensas, andaime suspenso manual e motorizado. Esses equipamentos possuem características próprias, com vantagens e desvantagens dependendo da aplicação e das condições requeridas para o serviço.

Para a execução do serviço em altura é essencial a preocupação com a segurança, buscando sempre estar de acordo com as normas. Dessa forma para escolha dos equipamentos a serem utilizados é crucial analisar a segurança do mesmo, no intuito de prevenir acidentes de trabalho.

Os andaimes são tão antigos quanto as construções. Nos primórdios eram utilizados andaimes de madeira, no Sudeste Asiático e Índia ainda são utilizadas estruturas feitas de bambu. No início do século XX os irmãos Daniel Palmer Jones e David Henry Jones inventaram o scaffixer – um dispositivo de acoplamento mais eficiente e robusto que o uso de cordas, até então o método de fixação mais utilizado. Como consequência dessa invenção houve o desenvolvimento das estruturas metálicas aplicadas à construção de andaimes [2].

Com a expansão da indústria da construção, foram surgindo novas demandas para a aplicação de andaimes. As plataformas suspensas movidas por cabos de aço surgiram como uma alternativa eficiente e segura para diversas situações, em especial para construções em níveis elevados.

As plataformas suspensas inicialmente eram movimentadas por meio de manivelas operadas pelos trabalhadores. A partir da implantação de motores, responsáveis por tracionarem o cabo, esses equipamentos obtiveram avanços em performance e proporcionaram maior segurança para os operadores.

1.2 PESQUISA NORMATIVA

As normas utilizadas na elaboração do seguinte trabalho foram:

NBR 6494 - Segurança nos andaimes – Esta norma fixa as condições exigíveis de segurança dos andaimes quanto à sua condição estrutural, bem como de segurança das pessoas que nele trabalham ou transitam.

NBR 8400 - Cálculo de equipamento para levantamento e movimentação de cargas - Esta norma fixa as diretrizes básicas para o cálculo das partes estruturais e componentes mecânicos dos equipamentos de levantamento e movimentação de cargas.

NR 18 – Condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção - estabelece diretrizes de ordem administrativa, de planejamento e de organização, que objetivam a implementação de medidas de controle e sistemas preventivos de segurança nos processos, nas condições e no meio ambiente de trabalho na Indústria da Construção.

NR 35 – Trabalho em altura – esta norma estabelece os requisitos mínimos e as medidas de proteção para o trabalho em altura, envolvendo o planejamento, a organização e a execução, de forma a garantir a segurança e a saúde dos trabalhadores envolvidos direta e indiretamente com esta atividade.

1.3 OBJETIVO

O objetivo do trabalho consiste no desenvolvimento de cálculo para o dimensionamento da plataforma de um andaime suspenso motorizado. Por meio da análise de sistemas utilizados no mercado e das normas foi desenvolvido o projeto conceitual da máquina, e posteriormente realizou-se o dimensionamento estrutural da plataforma além da seleção dos componentes do sistema de acionamento segurança e ancoragem. Uma análise de custo ao final será realizada, comparando-se os custos aproximados para a montagem do equipamento com a aquisição de modelos comerciais com características aproximadas das utilizadas como parâmetros de projeto.

1.4 RESULTADO DO PROJETO

Como consequência do trabalho desenvolvido foi elaborado um projeto da plataforma de um andaime suspenso mecânico, que possui comprimento de 200 cm e largura 80 cm, carga nominal de 640 kg e peso próprio de 300 kg contando com o sistema de acionamento. As peças principais que compõe a estrutura são guarda corpo frontal, guarda corpo traseiro, guarda corpo lateral e piso. Os componentes do sistema de acionamento, segurança e ancoragem são selecionados a partir de modelos comerciais. A Tabela 1-1 mostra as características do andaime suspenso motorizado projetado.

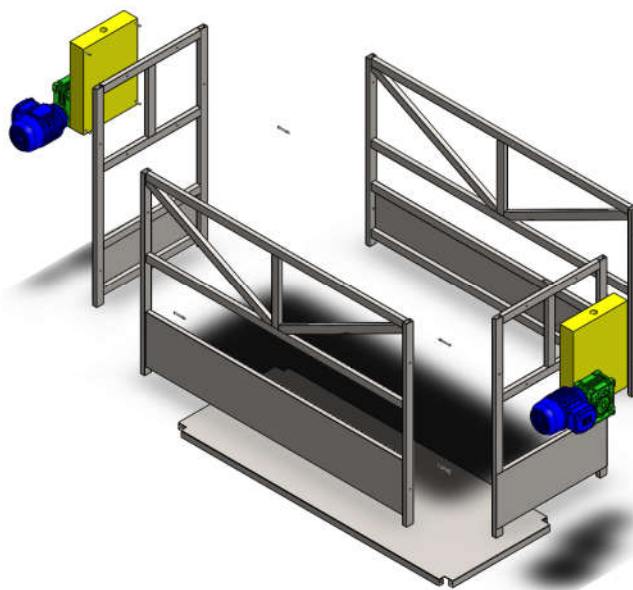


Figura 1-1 - Plataforma do andaime suspenso projetada

Tabela 1-1 - Características do andaime projetado

Carga Nominal (kgf)	640
Comprimento(cm)	200
Peso próprio(kgf)	300
Largura(cm)	80
Potência de acionamento(cv)	1,5

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho é estruturado em 8 capítulos nos quais estão representadas as etapas do projeto. O relatório possui a seguinte sequência:

A Introdução, capítulo 1, apresenta uma visão geral sobre os andaimes, aspectos históricos e como foi seu desenvolvimento até os dias atuais. Além disso o objetivo do trabalho é delineado e as normas utilizadas no projeto são expostas.

A Revisão Bibliográfica, capítulo 2, inicia abordando a definição dos equipamentos de acesso em fachadas e as soluções utilizadas esse tipo de trabalho. Os componentes do andaime suspenso motorizado foram explicitados e alguns modelos comerciais foram mostrados.

No Projeto conceitual, capítulo 3, foram estabelecidos os requisitos do produto e elaboração dos modelos conceituais. Em posse dos requisitos e modelos elaborou-se uma matriz de decisão para definir quais as principais características a serem consideradas para o projeto, além das hipóteses e estimativas de solução. É realizada a classificação da estrutura, de acordo com a NBR 8400, quanto ao uso e condições de carga, além da definição dos materiais utilizados e verificações estruturais necessárias.

No Dimensionamento da estrutura, capítulo 4, são realizados todos os cálculos relativos a resistência estrutural da máquina. Por meio da análise em módulos, dimensiona-se o piso, guarda corpo e lateral do andaime suspenso motorizado.

No capítulo 5, Elementos mecânicos, foram dimensionadas as juntas aparafusadas e soldadas. O dimensionamento ocorreu através da metodologia proposta pela NBR 8400.

O capítulo 6, Acionamento e segurança, são especificados os sistemas de acionamento e segurança por meio da seleção dos itens necessários.

No capítulo 7, Análise de custos, é realizado um estudo de viabilidade econômica do equipamento através do levantamento dos custos relativos à fabricação e manutenção do andaime.

Na Conclusão, capítulo 8, são expostas as principais informações referentes ao desenvolvimento do projeto, os resultados alcançados, sendo feita uma comparação entre a máquina projetada e os modelos comerciais disponíveis no mercado.

2 TIPOS E APLICAÇÕES DE ANDAIMES

Os andaimes são plataformas necessárias à execução de trabalhos em lugares elevados, onde não possam ser executados em condições de segurança a partir do piso. São utilizados em serviços de construção, reforma, demolição, pintura, limpeza e manutenção [3].

Os equipamentos de acesso suspenso (SAE) são equipamentos, máquinas, plataformas ou outros dispositivos suspensos por elementos flexíveis e usados por trabalhadores para acesso às laterais ou superfícies inclinadas de estruturas ou prédios [4].

2.1 SOLUÇÕES PARA TRABALHO EM ALTURA

Nesta seção serão expostas algumas das soluções existentes para o trabalho em fachadas. Os sistemas exemplificados são: Andaimes simplesmente apoiados, Andaimes fachadeiros, Andaimes em balanço, Andaime suspenso manual, Andaime suspenso motorizado e Cadeira suspensa.

2.2 ANDAIME SIMPLEMENTE APOIADO

São também conhecidos como andaimes tubulares e obtidos por meio da união de tubos metálicos através de bráçadeiras, o que possibilita a criação de diversas formas e geometrias do equipamento de acordo com as condições de operação. Esses andaimes são formados por estruturas que se encaixam em módulos, portanto são dispensados o uso de ferramentas específicas ou mão de obra especializada para sua montagem. Devido à estrutura simples do sistema, o equipamento possui boa relação custo benefício sendo muito utilizado em obras e canteiros. Os andaimes simplesmente apoiados podem ser divididos em dois tipos, sendo possível a movimentação horizontal ou não da estrutura. A movimentação horizontal é realizada por meio de rodas, caso contrário as bases do equipamento são fixas ao solo [5].

Os andaimes são classificados em duas categorias:

Fixos: são andaimes com base fixas ao solo e independentes da obra de trabalho conforme Figura 2-1. Devido ao seu baixo custo e flexibilidade na montagem, são utilizados em diversas etapas da construção, desde a colocação de paredes até serviços em fachadas, como revestimento, pintura e manutenção.



Figura 2-1 - Andaime simplesmente apoiado [6].

- Móvel: os andaimes tubulares com base móvel proporcionam fácil movimentação horizontal por meio de rodas. Como pode ser visto na Figura 2-2 os andaimes fixos são feitos de tubos metálicos e de fácil montagem. Devido à sua instabilidade devem ser utilizados em solos planos.



Figura 2-2 - Andaime simplesmente apoiado móvel [7].

2.3 ANDAIME FACHADEIRO

São andaimes constituídos por estruturas modulares, tais como os simplesmente apoiados, porém são compostos por vários níveis de plataformas de trabalho, em que os trabalhadores e materiais

possuem acesso direto à obra. É versátil, uma vez que pode cobrir toda uma área relativa a fachada externa da construção sem a necessidade de mover-se de uma torre individual para outra.

Como mostrado na Figura 2-3 os andaimes fachadeiros são constituídos de quadros vertical e horizontal, placa de base, travessa diagonal, guarda corpo e escada. Permitem o acesso de pessoas e materiais à obra, sendo muito utilizados em serviços de manutenção de fachadas de construção, quando não é possível o acesso pela parte interna da obra.



Figura 2-3 - Andaime fachadeiro [9].

2.4 ANDAIME EM BALANÇO

Os andaimes em balanço são projetados para fora da construção, como mostrado na Figura 2-4, e fixados por meio de vigamento ou estruturas em balanço presos, que tenham sua segurança garantida, seja por engastamento ou outro sistema de contrabalanço no interior da construção. Em geral o equipamento é utilizado quando não há possibilidade de apoiar o andaime sobre o solo. Para o projeto desse tipo de andaime pode-se usar estruturas de madeira ou metálica. É necessário considerar que o ancoramento do equipamento no prumo da construção deve suportar até três vezes a carga de operação do andaime. Por questões de segurança o operador deve utilizar o cinto de segurança tipo paraquedista em estrutura independente do andaime [5].

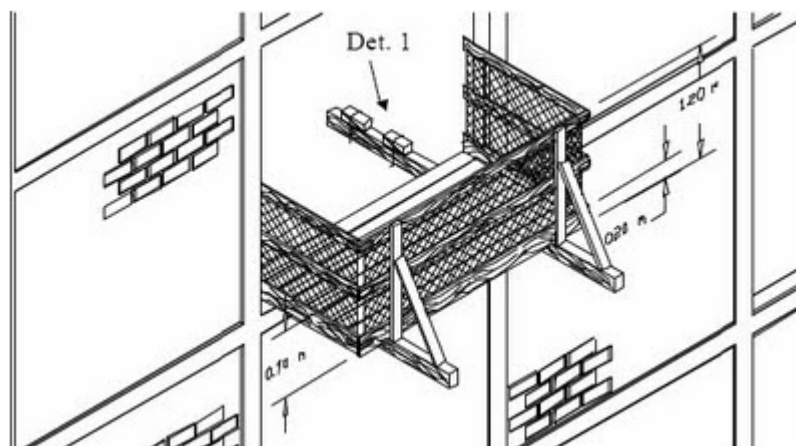


Figura 2-4 - Andaime em balanço [10].

2.5 ANDAIME SUSPENSO MECÂNICO

Os andaimes suspensos mecânicos podem ser classificados como pesados ou leves, em que a plataforma é sustentada por travessas metálicas ou de madeira, suportada por meio de cabos de aço, movimentando-se no sentido vertical com auxílio de guinchos. A movimentação vertical é realizada manualmente, através de manivelas operadas pelo trabalhador [3].

Os andaimes suspensos mecânico e motorizado possuem estruturas semelhante, e seus principais componentes são plataforma, cabos de aço, freio trava quedas e sistema de ancoragem. A principal diferença entre os sistemas consiste no mecanismo de acionamento, pois no andaime motorizado o acionamento é realizado por meio do conjunto motor-redutor que é composto por guinchos elétricos, com sistema de motor-redutor, enquanto que o andaime suspenso manual utiliza-se catracas e manivelas fixadas na região indicada da Figura 2-5.



Figura 2-5 – Andaime suspenso mecânico [11].

2.6 ANDAIME SUSPENSO MOTORIZADO

Os andaimes suspensos motorizados, também denominados balancins elétricos, são equipamentos que facilitam a realização dos trabalhos externos necessários nas construções de edifícios, bem como em estruturas já elevadas para efeitos de reparos, reformas, acabamentos, pinturas, torres de acesso, serviços de limpeza de fachadas. Tendo capacidade de elevar até 400 kgf/m², o balancim é o principal meio de transporte vertical para a execução de serviços de fachada, deslocando-se a velocidades variando de 8 m/min a 12 m/min em aplicações normais [3].

A Figura 2-6 mostra um andaime suspenso motorizado e suas principais características de acordo com NBR 6494 são:

- As plataformas do sistema são formadas por módulos, alcançando até 8 m.
- Cabos de aço com especificação 5/16"(6x19 AF).
- O sistema de ancoragem geralmente é feito por meio de afastadores, com os cabos de aço fixos no topo da estrutura.
- Sistema de guincho com cabo passante.



Figura 2-6 - Andaime suspenso motorizado.

2.7 CADEIRA SUSPensa

A cadeira suspensa, devido à sua estrutura e dimensão, pode ser utilizada por apenas uma pessoa e seu material de trabalho. Conforme Figura 2-7 é constituída de um assento de aço de forma anatômica e fixada por meio de cabos de aço, os quais devem ser fixados por meio de dispositivos que impeçam seu deslizamento e desgaste, tornando-se imprescindível sua substituição quando apresentarem condições que comprometam sua integridade [5].

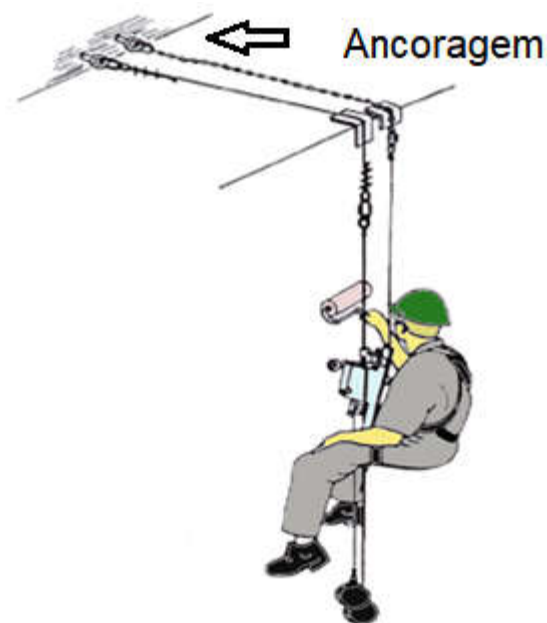


Figura 2-7 - Cadeira Suspensa [12].

2.8 COMPONENTES DO SISTEMA

Após a exposição de algumas das soluções existentes para o trabalho em fachadas serão expostos os componentes do andaime suspenso motorizado, sendo eles: plataforma, mecanismo de acionamento, freio de segurança, cabos de aço, sistema de controle elétrico e sistema de ancoragem.

2.8.1 Plataforma

As plataformas de trabalho dos andaimes são formadas por vigas metálicas de sustentação e os elementos que compõe a estrutura são: piso, guarda corpo alto, guarda corpo baixo, plataforma e módulo lateral. As plataformas são módulos de 1, 2 e 3 metros e, conforme a necessidade, são unidos por meio de parafusos alcançando até 8 metros. Cada extremidade da plataforma possui uma estrutura lateral para acomodar o motor e o freio de segurança [3].

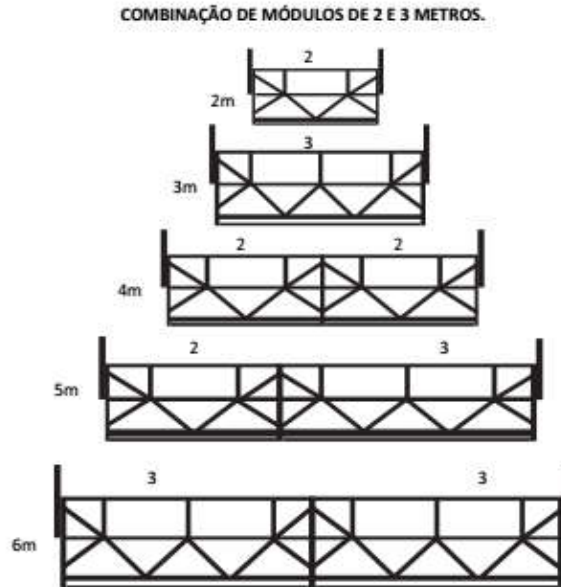


Figura 2-8 - Figura esquemática módulos da plataforma [13].

2.8.2 Mecanismo de acionamento

O mecanismo de acionamento ou tração é composto pelo motor elétrico com freio eletromagnético, redutor e caixa de tração, conforme mostrado na Figura 2-9. O motor é fixado na caixa de redução, que por sua vez transmite rotação em velocidade menor à caixa de tração. A caixa de tração é um elemento que permite transmitir as cargas de trabalho para o cabo de aço e simultaneamente fornece a potência necessária para a movimentação da plataforma [13].



Figura 2-9 - Sistema de tração do andaime suspenso.

2.8.3 Sistema segurança

O andaime suspenso motorizado é munido de um sistema de segurança que é acionado quando a plataforma é submetida a inclinações superiores a 15° ou quando há ruptura do cabo de tração. Como pode ser visto na Figura 2-10 o mecanismo trava quedas é posicionado na parte superior da estrutura, onde há a passagem do cabo de aço em seu interior, e o travamento do cabo ocorre por meio de um mordente que atua sobre o cabo.

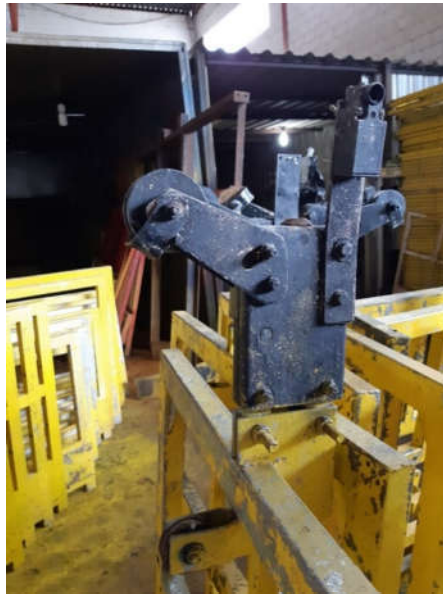


Figura 2-10 - Sistema trava de segurança.

2.8.4 Sistema de controle elétrico

O andaime suspenso motorizado possui um quadro de comando elétrico que comanda as principais funções acionamento da máquina. As principais características[14] do quadro de comando são:

- Circuito de alimentação trifásico de 220 V ou 380 V.
- Circuito de comando em 36 V.
- Botão de emergência no quadro de comando.
- Acionamento de subida e descida no quadro de comando.
- Chave seletora para escolha individual de acionamento de cada motor, função necessária para os processos de nivelamento ou passagem do cabo.

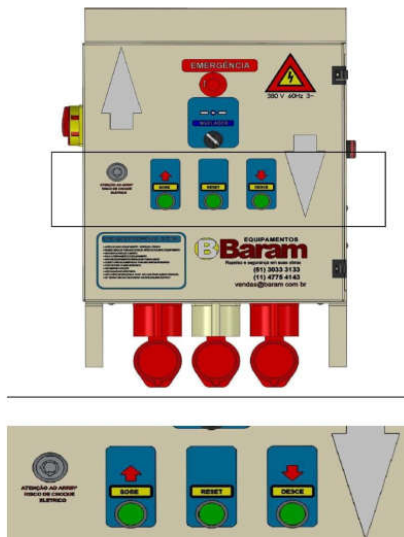


Figura 2-11 - Quadro comando elétrico [14].

No painel de comando como pode ser visto na Figura 2-11 estão disponíveis 2 botões de comando, uma chave seletora e uma chave geral. Os botões têm a função sobe-desce da plataforma. A chave seletora individualiza a atuação dos guinchos na função direito – esquerdo para que o operador possa compensar eventuais desníveis entre as extremidades do andaime.

2.8.5 Ancoragem

O sistema de ancoragem permite a fixação do andaime na laje de edificações, por meio de dispositivos de suspensão, por onde passam os cabos de tração e segurança. Esses dispositivos configuram a posição de trabalho da plataforma em relação à face de serviço. Entre as possibilidades disponíveis no mercado para realizar essa ancoragem estão o uso de vigas com cavaletes e o afastador. Para o sistema com viga e cavelete, mostrado na Figura 2-13, é possível utilizar os contrapesos ou amarração do cabo de aço direto em ganchos disponíveis na laje ou na própria laje, já o afastador como pode ser visto Figura 2-12 pode ser ancorado somente através da fixação do cabo em ganchos ou laje.

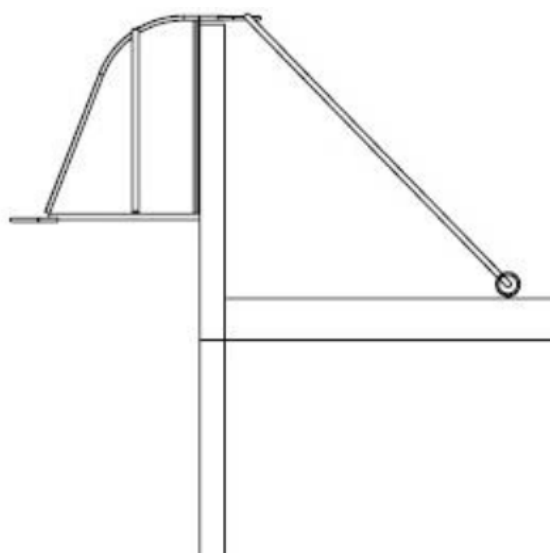


Figura 2-12 - Ancoramento com afastador [14].



Figura 2-13 - Ancoragem com viga e cavalete

2.9 MODELOS COMERCIALIZADOS

Os modelos comerciais disponíveis são mostrados nesta seção e através da análise desses sistemas busca-se um embasamento para o desenvolvimento do projeto do andaime suspenso motorizado. As características técnicas dos produtos listados foram retiradas dos manuais dos fabricantes.

2.9.1 Andaime elétrico suspenso Aeroandaimes

O andaime elétrico mostrado na Figura 2-14 do fabricante Aeroandaimes possui velocidade de 9 m/min. A carga nominal para o equipamento de 2 metros é de 575 kgf, com peso próprio de 225 kgf. Seu sistema de tração é o único no mercado desprovido de engrenagens, pois funciona com correias e polias sincronizadoras, dispensando qualquer tipo de lubrificação ou regulagem sistemática. O material

utilizado para a fabricação da plataforma é o metalon (ASTM A36), sendo toda a estrutura soldada por meio do processo MIG e piso antiderrapante fabricado com liga de alumínio 5052 H314.



Figura 2-14 - Balancim Elétrico Aeroandaimes [15].

2.9.2 Balancim elétrico ZUMAQ

O balancim elétrico do fabricante ZUMAQ, modelo ZBE 700 conforme Figura 2-15 possui velocidade 9,5 m/min. A carga nominal do módulo de 2 metros desse modelo é de 465 kgf com peso próprio de 285 kgf. A estrutura da plataforma é fabricada em aço tubular com chapa de base em alumínio antiderrapante com espessura de 1,5 mm. O sistema conta com um par de dispositivos trava quedas denominado BLOCK STOP, instalado junto a um cabo secundário exclusivo para segurança, o qual é acionado automaticamente no caso de afrouxamento do cabo de tração.



Figura 2-15 – Balancim elétrico modelo ZBE 700 [13].

2.9.3 Balancim Elétrico C3

O balancim elétrico do fabricante C3 Equipamentos mostrado na Figura 2-16 possui, para a plataforma de 2 metros, carga nominal de 250 kgf e peso próprio de 190 kgf. O equipamento possui um dispositivo denominado inclinômetro que trava o sistema ao atingir a inclinação de 15°. Quanto a estrutura da plataforma o piso é fabricado em chapa expandida ou recalcada com largura de 90 cm.[16]



Figura 2-16 - Andaime suspenso motorizado C3[16]

3 PROJETO CONCEITUAL

3.1 REQUISITOS DE PROJETO

As limitações das dimensões do sistema são estabelecidas por meio da Norma Regulamentadora (NR18) e pela NBR 6494. As larguras mínima e máxima são iguais à 65 cm e 90 cm, respectivamente, o comprimento máximo do piso do andaime é de 8 metros. Com relação à altura do sistema não há restrição em norma para o limite máximo de utilização, uma vez que o comprimento do cabo de aço não influencia no dimensionamento estrutural da máquina, o que é estabelecido é a proibição para o uso de andaimes suspensos com acionamento por catraca para trabalho em prédios acima de 8 pavimentos [17].

- Capacidade de 400 kgf/m²
- Velocidade máxima de 10 m/min
- Não possui altura máxima de elevação
- Comprimento do piso de 2 metros
- Máximo de 2 pessoas por equipamento
- Piso de trabalho antiderrapante e fixado

A capacidade de 400 kgf/m² é composta pelas cargas relativa à pessoas, incluído os equipamentos de proteção individual, além das ferramentas de trabalho utilizadas para o serviço. Todas essas cargas compõe o valor considerado para a capacidade da máquina projetada.

A velocidade de 10 m/min adotada foi escolhida a partir da avaliação dos modelos comerciais existentes, que varia entre 8 e 12 m/min. A utilização de sistemas mais potentes que permitem os andaimes movimentar-se com maior velocidade, não é justificado pelo valor despendido uma vez que usualmente o andaime não se movimenta com tanta frequência ao longo da fachada, ou seja, possuindo baixo ciclos de levantamento.

A altura de elevação do andaime suspenso motorizado é dada pela altura do local de trabalho. O gabarito máximo das edificações é delimitado pelo plano diretor urbano e pode diferir em cada região do país. Portanto o andaime projetado pode ser utilizado para qualquer edificação, devendo o cabo de aço utilizado possuir o comprimento necessário para cobrir toda altura do prédio.

A quantidade máxima de pessoas que podem trabalhar na plataforma projetada são dois operadores, sendo esse requisito estabelecido por meio da NR18.

As chapas de piso utilizadas no andaime devem ser metálicas e antiderrapante, nivelado e fixado de modo seguro e resistente, no intuito de evitar escorregamentos acidentais na plataforma. A chapa escolhida para é a chapa xadrez de aço.

3.2 DETERMINAÇÃO DA GEOMETRIA ESTRUTURAL

3.2.1 DIMENSÕES

O projeto do andaime suspenso motorizado considera os materiais de trabalho utilizados, as pessoas designadas para operar a máquina; além do ambiente de operação em que geralmente utiliza-se a máquina para a definição das condições de contorno. Entende-se como materiais de trabalho todos os equipamentos e ferramentas utilizados na plataforma para o serviço nas fachadas.

- Comprimento

O comprimento da máquina foi definido a partir dos modelos comerciais e foi definido como sendo de 2 metros. Para a determinação desse valor considerou-se a versatilidade inerente à equipamentos de menor tamanho para a realização do trabalho em áreas de tamanho reduzido.

- Largura

A largura do andaime é definida a partir das características de geométricas e de utilização dos equipamentos de trabalho e operadores do sistema. Considerando que frequentemente os andaimes devem permitir que os operadores possam movimentar os materiais de trabalho. A largura definida foi de 80 cm.

3.2.2 SISTEMA DE ACIONAMENTO

O sistema de acionamento do equipamento é realizado por meio de um sistema de tração composto por roldanas e guias do aço. Por meio de um furo cilíndrico o cabo aço acessa a caixa de tração do sistema, e através da guia percorre uma trajetória circular em que um braço mecânico tensionado por uma mola exerce força no cabo, evitando o escorregamento do mesmo. Para o âmbito desse projeto serão mostrados os locais de fixação de todo o sistema de acionamento, que é selecionado entre os produtos disponíveis comercialmente.

3.3 HIPÓTESES CONSIDERADAS

Para o desenvolvimento do projeto são adotadas algumas considerações como:

1. A máquina movimenta-se com velocidade reduzida, logo os efeitos dinâmicos do sistema são desprezados no cálculo estrutural.
2. O material utilizado é isotrópico
3. A distribuição de massa do material de trabalho é considerada homogênea.

3.4 CLASSIFICAÇÃO DA ESTRUTURA

De acordo com a NBR 8400 as estruturas dos equipamentos são classificadas em grupos conforme o serviço que irão executar, afim de serem determinadas as solicitações que deverão ser consideradas no projeto. Para a determinação dos grupos a que pertence a estrutura são considerados dois fatores:

- Classe de utilização
- Estado de carga

A classe de utilização caracteriza a frequência de utilização do equipamento. Não podendo classificar a estrutura dos equipamentos em função de seus diversos ciclos de manobras, convencionou-se classifica-la em função da utilização do movimento de levantamento, definindo quatro classes de utilização, conforme Tabela 3-1.

Tabela 3-1 - Classe de utilização

Classe de utilização	Frequência de utilização do movimento de levantamento	Número convencional de ciclos de levantamento
A	Utilização ocasional não regular, seguida de longos períodos de repouso	$6,3 \times 10^4$
B	Utilização regular em serviço intermitente	$2,0 \times 10^5$
C	Utilização regular em serviço intensivo	$6,3 \times 10^5$
D	Utilização em serviço intenso severo, efetuado, por exemplo, em mais um turno	$2,0 \times 10^6$

A quantidade da ciclos de levantamento é estimada a partir da taxa de ciclos e da vida útil do equipamento, sendo o cálculo apresentado pela equação (3-1). Para o projeto serão considerados 10 ciclos de levantamento por dia, considerando o horário comercial (08h às 18h). Considerando 312 dias de trabalho e que a máquina é projetada para uma vida útil de 20 anos, temos a quantidade de ciclos dado pela equação (3-2):

$$Ciclos\ de\ levantamento = \frac{ciclos}{dia} \times \frac{dia}{ano} \times vida\ útil \quad (3-1)$$

$$\text{Ciclos de levantamento} = 10 \times 312 \times 20 = 62400 \text{ ciclos} \quad (3-2)$$

A quantidade de ciclos de levantamento resultante foi de 62400 ciclos. Portanto da Tabela 3-1 temos que a estrutura possui classe de utilização A, ou seja, utilização ocasional não regular, seguida de longos períodos de repouso.

3.5 ESTADO DE CARGA

O estado de carga caracteriza em que proporção o equipamento levanta a carga máxima, ou somente uma carga reduzida, ao longo de sua vida útil. Considera-se quatro estados convencionais de cargas caracterizados pelo valor P apresentados na Tabela 3-2.

Tabela 3-2 - Estado de carga

Estado de carga	Definição	Fração mínima
0 (Muito leve)	Equipamento levantando excepcionalmente a carga nominal e comumente cargas muito reduzidas	$P = 0$
1 (leve)	Equipamentos que raramente levantam a carga e comumente cargas da ordem de $1/3$ da carga nominal	$P = 1/3$
2 (médio)	Equipamentos que frequentemente levantam a carga nominal e comumente cargas compreendidas entre $1/3$ e $2/3$ da carga nominal	$P = 2/3$
3 (pesado)	Equipamentos regularmente carregados com carga nominal	$P = 1$

Para o projeto do andaime suspenso, será considerado que o equipamento funciona frequentemente com a carga nominal e comumente com cargas compreendidas entre $1/3$ e $2/3$ da carga nominal.

Deste modo, tem-se que o equipamento será projetado para levantar até 640 kgf, porém estará levantando frequentemente cargas entre 213,3 kgf e 426,7 kgf.

3.6 GRUPO DOS ELEMENTOS DAS ESTRUTURAS

A partir das classes de utilização e dos estados de cargas levantadas, classificam-se as estruturas ou seus elementos em seis grupos conforme Tabela 3-3. Pelo resultado das demais escolhas tem-se que a estrutura pertence à classe 3.

Tabela 3-3 - Classificação da estrutura do equipamento

Estados de cargas (ou de tensões para um elemento)	Classe de utilização e número convencional de ciclos de			
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>
0 (muito leve) $P = 0$	1	2	3	4
1 (leve) $P = 1/3$	2	3	4	5
2 (médio) $P = 2/3$	3	4	5	6
3 (pesado) $P = 1$	4	5	6	6

3.7 COEFICIENTE DE MAJORAÇÃO

De acordo com a norma, o valor do coeficiente de majoração, M_x , depende do grupo no qual a estrutura está classificada. O emprego desse coeficiente é fundamental na correção dos valores das solicitações, as quais podem ser ultrapassadas devido a imperfeições de cálculos e imprevistos.

A Tabela 3-4 recomenda valores para o coeficiente de majoração para equipamentos industriais com base no grupo

Tabela 3-4 - Coeficiente de Majoração

Grupos	1	2	3	4	5	6
M_x	1	1	1	1,06	1,12	1,20

O equipamento foi classificado pertencente ao grupo 3 assim, seu coeficiente de majoração adotado é de $M_x = 1$. Os valores do coeficiente recomendado na tabela serão utilizados ao longo do projeto do andaime suspenso motorizado.

3.8 MATERIAIS SELECIONADOS

O projeto da estrutura do andaime suspenso motorizado requer estrutura resistente, segura e de fácil acesso no mercado, no intuito de viabilizar uma fabricação com o menor custo possível. Ademais deve garantir boas resistência à falha contra o escoamento, instabilidade, ruptura à fadiga e fratura frágil.

De acordo com as características mencionadas, selecionou-se o aço ASTM A36, pois o mesmo possui boa propriedade mecânicas além de ser acessível no mercado, sendo comercializados em

diversas opções de geometria e dimensões padronizadas. As propriedades mecânicas dos aços escolhidos estão expostas na Tabela 3-5

Tabela 3-5 - Propriedade mecânica do aço A36

Aço	Tensão de escoamento	Limite de ruptura à tração	Módulo de elasticidade
ASTM A36	250 MPa	450 MPa	200 GPa

3.9 TENSÕES ADMISSÍVEIS

Sabendo que os elementos da estrutura estarão solicitados à tração ou compressão, a tensão de tração ou compressão calculadas não deverão exceder os valores da tensão admissível (σ_a). A Tabela 3-6 apresenta o cálculo da tensão admissível para os três casos possíveis previstos na NBR 8400.

Tabela 3-6 - Tensões admissíveis à tração (ou compressão) simples.

Casos de solicitação	Caso I	Caso II	Caso III
Tensão admissível	$\frac{\sigma_e}{1,5}$	$\frac{\sigma_e}{1,33}$	$\frac{\sigma_e}{1,1}$

Para o projeto do equipamento foi adotado o Caso II, que representa um serviço normal com vento limite de serviço, devido ao ambiente de trabalho do equipamento ser externo com alturas elevadas, usualmente em prédios. Assim, os elementos que forem solicitados à tensão normal terão o valor da tensão admissível definida pela equação (3-3).

$$\sigma_a = \frac{\sigma_e}{1,33} \quad (3-3)$$

Para os elementos submetidos à tensão cisalhante pura o valor da tensão admissível de cisalhamento será dado pela equação (3-4).

$$\tau_a = \frac{\sigma_a}{\sqrt{3}} \quad (3-4)$$

A Tabela 3-7 apresenta os valores das tensões admissíveis normal e de cisalhamento admissíveis para os aços escolhidos para o dimensionamento da estrutura.

Tabela 3-7 - Tensões normal e cisalhante admissíveis para o dimensionamento da estrutura.

Aço	σ_e (MPa)	σ_a (MPa)	τ_a (MPa)
ASTM A36	250	188	109

3.10 MODOS DE FALHA AVALIADOS

Para garantir a segurança e a correta utilização do andaime devem ser avaliados alguns modos de falha que podem ocorrer durante a utilização da estrutura, garantindo durante o projeto e dimensionamento dos elementos que estes modos de falha não venham a ocorrer. As verificações contra as falhas possíveis de ocorrência são desenvolvidas no capítulo seguinte e a metodologia de verificação é estabelecida em norma e são listadas a seguir:

- Verificação contra a deflexão;
- Verificação contra o escoamento;
- Verificação contra a fadiga;

4 DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA

A partir dos requisitos de projeto definidos no capítulo 3 elaborou-se um esboço da máquina e seu dimensionamento será realizado ao longo deste capítulo. A vista explodida do andaime suspenso motorizado projetado é mostrada na Figura 4-1, o modelo CAD foi desenvolvido por meio do software SOLIDWORKS.

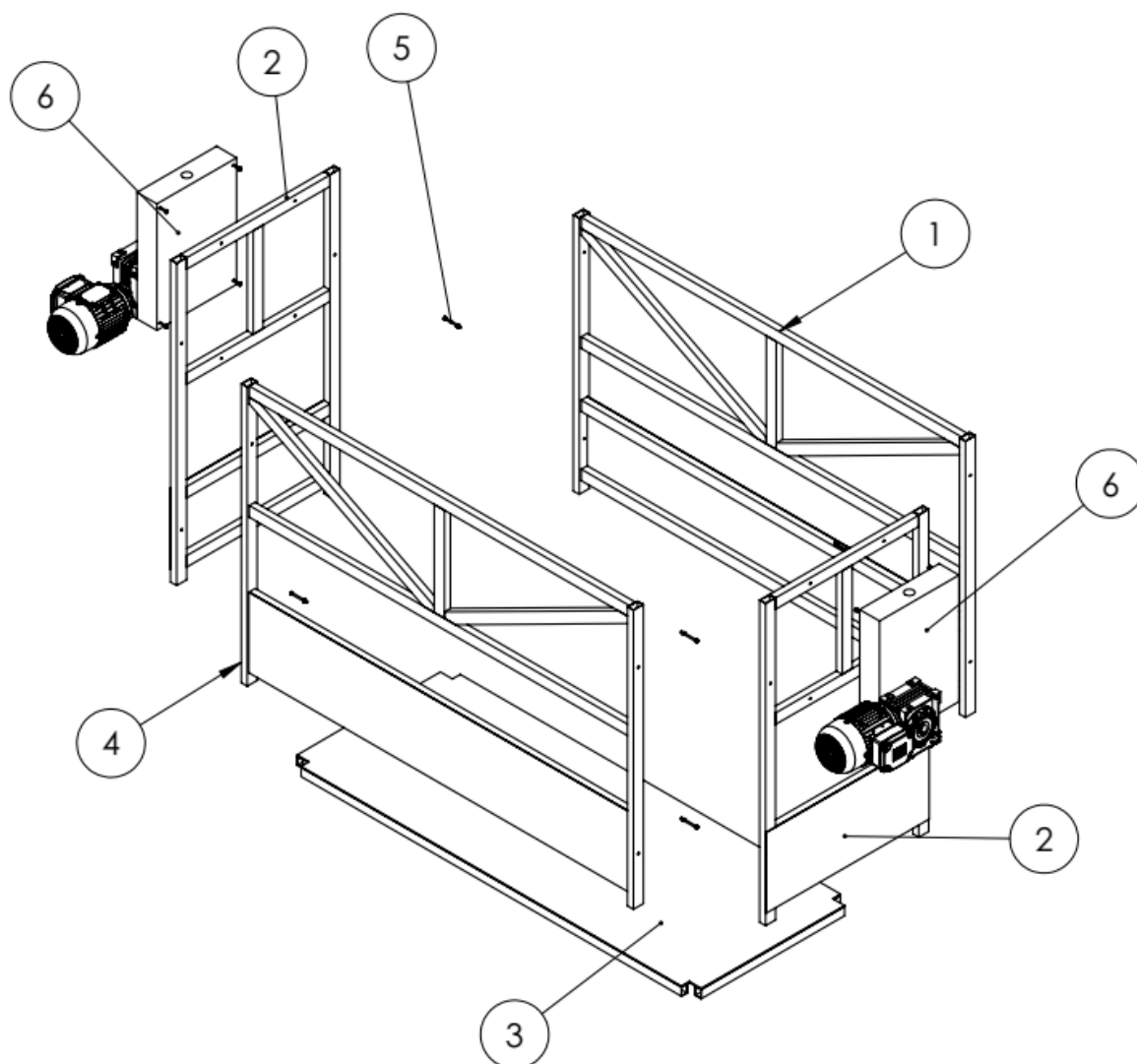


Figura 4-1 – Andaime suspenso motorizado projetado

A estrutura é formada por duas laterais (2), idênticas em geometria e esforços, uma plataforma de piso (3) e dois guarda-corpos (1), sendo um guarda-corpo para frente de trabalho e um guarda-corpo traseiro de segurança. O sistema de acionamento(6) é fixado no módulo lateral e será selecionado um modelo comercial que atende ao projeto em capítulos posteriores.

Os dois guarda-corpos foram considerados idênticos no dimensionamento, pois a função estrutural de ambos é conectar as laterais ao piso para a elevação de carga. Como os esforços são próximos, será considerado o pior caso para o dimensionamento dos dois guarda-corpos. A condição considerada mais crítica para o dimensionamento do andaime suspenso motorizado ocorre quando a plataforma está submetida à sua carga nominal de operação (400 kgf/m^2) e os esforços aplicados no piso não são suportados pelos módulos laterais diretamente, ou seja, as cargas de trabalho aplicada na estrutura do piso é transferida para os guarda corpos através das barras do piso e o guarda corpo é suportado pelos parafusos de conexão dos módulos laterais.

As cargas que compõe os esforços de trabalho no andaime são:

- Pessoas (Operadores)
- Equipamentos de segurança (EPI)
- Ferramentas e máquinas

Sendo o limite máximo estabelecido de 2 pessoas trabalhando por andaime, considera-se o peso individual de 80 kgf por pessoa (C_{PE}), além de 20 kgf de EPI (C_{SEG}). A carga total (CT) devido à operadores, equipamentos de segurança, ferramentas e material de trabalho é calculada pela equação (4-1).

$$CT = 2 \times C_{PE} + 2 \times C_{SEG} + C_{FER} \quad (4-1)$$

$$640(\text{kgf}) = 2 \times 80(\text{kgf}) + 2 \times 20(\text{kgf}) + C_{FER}$$

$$C_{FER} = 440 \text{ kgf}$$

Portando a carga máxima de materiais e ferramentas (C_{FER}) que pode ser utilizada no andaime projetado não pode exceder 440 kgf .

4.1 DIMENSIONAMENTO DO PISO

O dimensionamento da plataforma do andaime suspenso motorizado é iniciado a partir da estrutura do piso, pois é ele quem suporta diretamente as cargas de trabalho já expostas. Foi aplicada uma metodologia de verificação para a chapa do piso que considera a estrutura das vigas que suportam a chapa, denominada modulação. O módulo do piso representa a estrutura formada por barras longitudinais e transversais à plataforma.

As barras localizadas nas extremidades, indicadas pelo número 1 na Figura 4-2, suportam os esforços de maneira distribuída e estão inteiramente em contato com os módulos de guarda-corpos frontal e traseiro. Como essas barras transferem todos os esforços para o guarda corpo e estão totalmente apoiadas sobre a barra de apoio do guarda corpo ela não será dimensionada.

As barras em contato com os guarda-corpos laterais, indicadas pelo número 2 na Figura 4-2, não estão submetidas às cargas de trabalho, portanto não possuem função estrutural. A barra 2 não possui função estrutural pois a mesma está fixada na extremidade da chapa, que é flexível, logo não há transferência das cargas diretas entre o piso e essas barras, estando elas presente apenas para evitar que alguma ferramenta ou peça pequena caia do andaime.

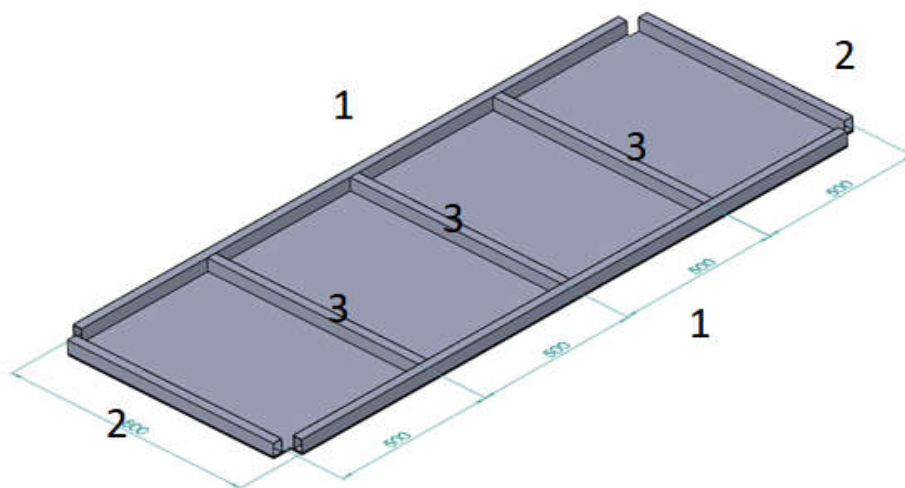


Figura 4-2 - Estrutura do piso

4.1.1 Dimensionamento da chapa de piso

A metodologia utilizada para esse dimensionamento utiliza o método dos estados limites para a verificação estrutural da chapa do piso. A espessura da chapa é calculada utilizando as equações do livro Roark's Formulas for Stress and Strain [20] e utiliza o método dos estados limites de serviço e último para o cálculo dessa espessura.

Para a chapa do piso, escolheu-se utilizar chapa xadrez por ser um tipo de piso que garante melhor aderência do que uma chapa lisa. Foi utilizado o método dos estados limites e a NR1 do Eurocode 3[19] recomenda que a flecha limite em chapas flexíveis seja de $L/250$ para o cálculo do estado limite de serviço representado pela equação (4-2).

A partir do cálculo da flecha limite, devemos calcular a flecha atuante. A NBR 8400 não possui recomendação em relação ao cálculo desta flecha, portanto a flecha atuante e [20], com o cálculo da espessura mostrado na equação (4-2) e na equação (4-3), o que for maior. Esses cálculos já consideram a flecha limite dada pela equação , não havendo necessidade de conferi-la.

$$t_{min1} = \sqrt[3]{\frac{250 \cdot \alpha \cdot q \cdot b^4}{E \cdot a}} \quad (4-2)$$

$$t_{min2} = b \cdot \sqrt{\frac{\beta \cdot q}{F_y}} \quad (4-3)$$

onde q é a carga distribuída em kN/cm^2 considerando o peso próprio da chapa, dado pela equação (4-4). e a carga de trabalho de 4kN/cm^2 (400 kgf/m^2), especificada nos requisitos de projeto no capítulo 3. O peso próprio da chapa é calculado utilizando a densidade do aço (7850 kg/m^3) e a espessura de chapa (t_{placa}) adotada inicialmente por $4,76\text{mm}$.

$$q_{placa} = \rho \left(\frac{\text{kgf}}{\text{m}^3} \right) \cdot t_{placa}(\text{m}) = 7850 \cdot 0,00476 \cdot 10^{-6} \text{ kN/cm}^2 \quad (4-4)$$

$$q_{placa} = 0,0000374 \text{ kN/cm}^2$$

A carga q , considerada nos cálculos das equações (4-2) e (4-3), é composta pelo peso da chapa (q_{placa}) e a carga total (CT). Os coeficientes α , β e γ , apresentados na Tabela 4-1, são parâmetros adimensionais e resultam da análise de resistência e deformações de placas planas, para maiores detalhes deve ser consultado a bibliografia no qual foram extraídas as informações [20]. Utiliza-se a relação a/b da geometria da chapa, onde a representa a distância longitudinal e b a distância transversal do piso como pode ser visto na Figura 4-3.

Tabela 4-1 – Coeficientes α , β e γ para cálculo da espessura mínima da chapa [20]

a/b	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2	3	4	5	1
β	0,2874	0,3762	0,453	0,5172	0,5688	0,6102	0,7134	0,741	0,7476	0,75
α	0,0444	0,0616	0,077	0,0906	0,1017	0,111	0,1335	0,14	0,1417	0,1421
γ	0,42	0,455	0,478	0,491	0,499	0,503	0,505	0,502	0,501	0,5

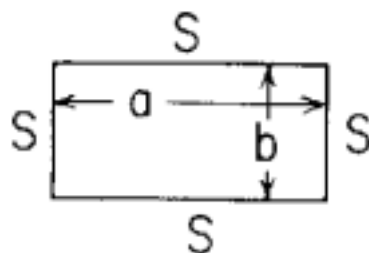


Figura 4-3 - Definição das grandezas a e b na modulação do piso [20]

Realizando o cálculo da espessura da chapa a partir do valor inicial adotado de $t_{placa}(4,76\text{mm})$ a Tabela 4-2 mostra o resultado da espessura necessária para a chapa do piso, $t_{min\ 1}$ e $t_{min\ 2}$, como as espessuras calculadas são menores do que a espessura escolhida inicialmente, a chapa atende aos critérios de dimensionamento e os valores definidos de a e b estão de acordo com as verificações realizadas. A Tabela 4-2 mostra ainda os valores de alfa(α) e (β) extraídos da Tabela 4-1.

Tabela 4-2 - Resultado do cálculo para a espessura do piso

Variável	Valor	Unidade
t placa	4,76	mm
q placa	0,0000374	kN/cm ²
CT	0,0004000	kN/cm ²
q	0,0004374	kN/cm ²
a	80,00	cm
b	50,75	cm
a/b	1,58	-
alfa	0,09	-
beta	0,51	-
$t_{min\ 1}$	0,33	cm
$t_{min\ 2}$	0,14	cm

4.1.2 Dimensionamento da barra de modulação do piso

Para o dimensionamento das barras de modulação (barra 3) do piso foi considerado um perfil retangular com seção transversal dada por 40 mm x 30 mm x 1,5mm e comprimento de 80 cm definido na seção anterior pelo parâmetro a. A Tabela 4-3 mostra as propriedades dimensionais do perfil utilizado na modulação do piso e seus parâmetros são:

- A_{ST} = Área da seção transversal (cm²)
- W_x = Módulo resistente direção x (cm³)
- J_x = Momento de inércia direção x (cm⁴)
- W_y = Módulo resistente direção y (cm³)
- J_y = Momento de inércia direção y (cm⁴)
- Peso = Peso da barra por unidade de medida (kgf/m)

Tabela 4-3 – Propriedades dimensionais do perfil de modulação do piso

$A_{ST} \text{ (cm}^2\text{)}$	2,01
$W_x \text{ (cm}^3\text{)}$	2,30
$J_x \text{ (cm}^4\text{)}$	4,60
$W_y \text{ (cm}^3\text{)}$	1,95
$J_y \text{ (cm}^4\text{)}$	2,93
Peso (kgf/m)	1,58

A solicitação devido ao peso próprio é calculada considerando o peso(m) fornecido pelo catálogo da Tabela 4-3, a gravidade(g) e o comprimento da barra(d_{MP}) como mostra a equação(4-5). A divisão pelo comprimento da barra permite avaliar a carga distribuída na direção especificada, que no caso é a direção do comprimento da barra de modulação.

$$PP_{bm} = \frac{m \cdot g}{d_{MP}} \quad (4-5)$$

$$PP_{bm} = \frac{1,264 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2}{0,8 \text{ m}} = 0,0155 \text{ kN/m}$$

A sobrecarga (SC) representa a carga de trabalho aplicada na plataforma, e foi definida no início do capítulo 4. O cálculo de SC , mostrado na equação (4-6), é efetuado considerando o processo da área de influência, que ocorre por meio da divisão da área da chapa pelo número de barras na estrutura, sendo que cada uma dessas barras é responsável por suportar a carga considerada nessa área de influência. A largura (0,5m) é adotada considerando a influência de cada uma das barras no suporte do piso.

$$SC = 4 \left[\frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right] \cdot 0,5 [\text{m}] = 2 \text{ kN/m} \quad (4-6)$$

A solicitação devido ao peso da chapa metálica foi calculada pela equação (4-4) , logo temos:

$$q_{placa} = PP_{ch} = 0,374 \text{ kN/m}^2 \quad (4-7)$$

A solicitação total na barra de modulação da placa é a soma do peso próprio da barra de modulação (PP_{ch}) mais o peso próprio da chapa metálica (PP_{ch}), além da solicitação devido à sobrecarga de utilização (SC). A solicitação total na barra de modulação (Q_{bm}) é mostrada na equação (4-8).

$$Q_{bm} = 0,5 * PP_{ch} + PP_{bm} + SC = 2,2 \text{ kN/m} \quad (4-8)$$

A análise das barras de modulação será realizada avaliando a carga Q_{bm} aplicada sobre uma das barras transversais que compõe a modulação do piso, uma vez que cada uma delas estão submetidas à mesma carga Q_{bm} . Por meio do software FTOOL foram construídos os gráficos dessa análise, como mostrado na Figura 4-4.

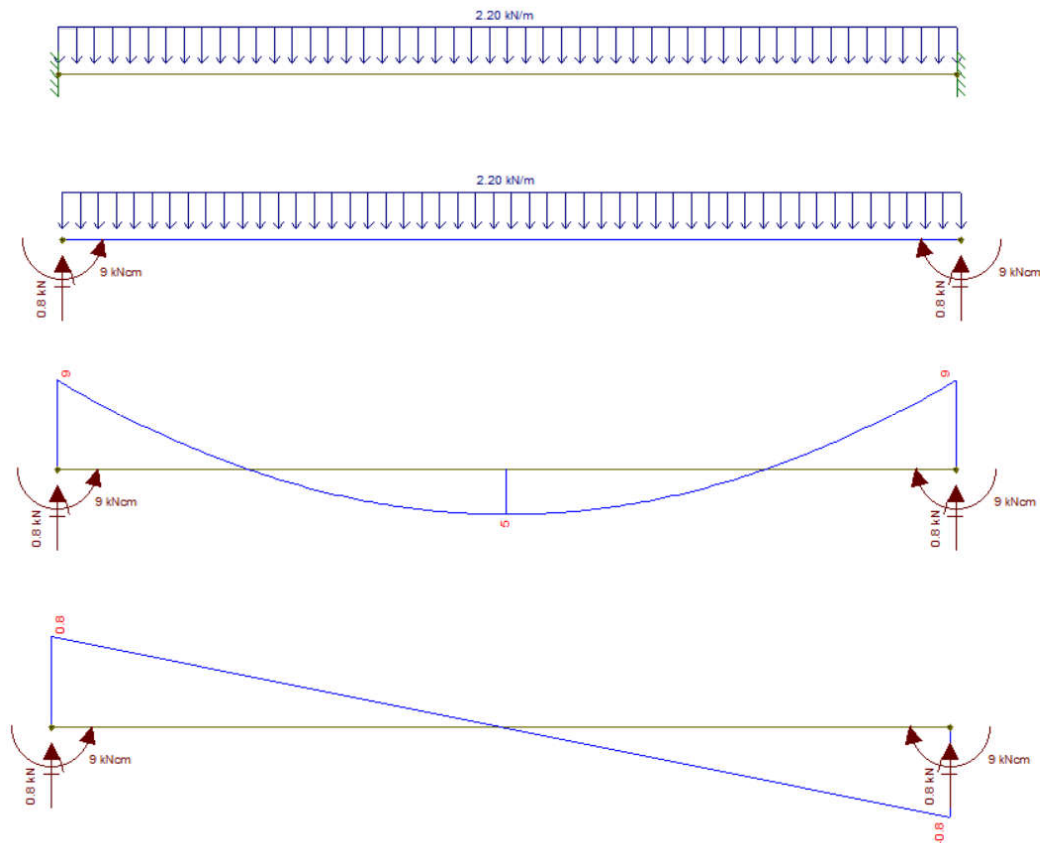


Figura 4-4 - Diagramas de esforços para a barra de modulação do piso

A verificação contra a deflexão foi realizada por meio do software FTOOLS, com o resultado mostrado na Figura 4-5. O valor máximo da deflexão foi de 0,16 mm, bem menor do que os 5 mm permitidos pela norma.

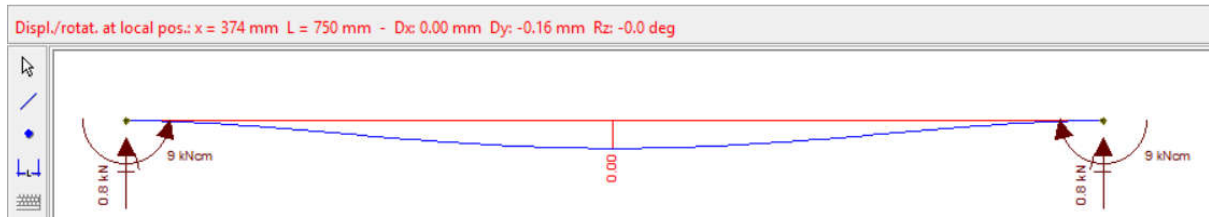


Figura 4-5 - Deflexão máxima na barra de modulação

Realiza-se a verificação contra o escoamento na barra de modulação do piso a fim de garantir que as tensões máximas que atuam nesse elemento não ultrapassem o limite de escoamento do material. Por ser um elemento solicitado a esforços combinados, são realizadas as seguintes verificações:

- $\tau = \tau_{m\acute{a}x} \cdot M_x \leq \tau_a$
- $\sigma = \sigma_{m\acute{a}x} \cdot M_x \leq \sigma_a$
- $\sigma_{cp} = M_x \cdot \sqrt{\sigma_{m\acute{a}x}^2 + 3 \cdot \tau_{m\acute{a}x}^2} \leq \sigma_a$

O coeficiente de majoração e o material da mesa superior já foram definidos anteriormente, assim $M_x = 1$, $\sigma_a = 188 \text{ MPa}$ e $\tau_a = 109 \text{ MPa}$.

Utilizando os diagramas de esforços internos da barra de modulação do piso, apresentados anteriormente na Figura 4-4, observou-se que a seção do elemento sujeita às máximas tensões está localizada na ponta do elemento. Os cálculos das tensões máximas resultam em:

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{V}{A_{ST}} = \frac{0,8}{2,01} = 0,40 \text{ kN/cm}^2 \quad (4-9)$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{M}{W_y} = \frac{9}{1,95} = 3,91 \text{ kN/cm}^2 \quad (4-10)$$

Ao realizar as 3 verificações propostas, observa-se que as tensões máximas que atuam na mesa superior não ultrapasam o limite de escoamento do material.

$$\tau \leq \tau_a \therefore 0,40 \leq 10,9 \text{ kN/cm}^2 \quad (4-11)$$

$$\sigma \leq \sigma_a \therefore 3,91 \leq 18,8 \text{ kN/cm}^2 \quad (4-12)$$

$$\sigma_{cp} \leq \sigma_a \therefore 3,97 \leq 18,8 \text{ kN/cm}^2 \quad (4-13)$$

A verificação contra a fadiga na barra de modulação do piso é necessária para garantir que a tensão máxima que atua neste elemento não ultrapasse a tensão de fadiga admissível. O procedimento utilizado para esta verificação é baseado no grupo do equipamento e no coeficiente de majoração. Para o material ASTM A36 escolhido para a barra de modulação é classificado como um aço 42 daN/mm². A barra de modulação do piso possui a classificação K2, com médio risco de ruptura, por ser um elemento soldado, e possui uma referência 2,2 seguindo os procedimentos estabelecidos no Anexo G da NBR 8400.

A relação entre a tensão mínima e a tensão máxima a que cada elemento é submetido é representada por um coeficiente R, tanto para cisalhamento quanto para tração e compressão, calculadas pela equação (4-14) e pela equação (4-15)

$$R_\tau = \frac{\tau_{\min}}{\tau_{\max}} \quad (4-14)$$

$$R_\sigma = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} \quad (4-15)$$

Utilizando a Tabela 52 e a Tabela 53 da NBR 8400, mostradas na Figura 4-6 e na Figura 4-7, respectivamente, deve-se verificar se as tensões máximas que atuam nos elementos são menores ou iguais às tensões admissíveis obtidas a fim de que não ocorra a falha por fadiga.

Em se tratando de solicitações combinadas de tração (ou compressão) e cisalhamento, são realizadas as verificações mostradas na equação (4-16), na equação (4-17) e na equação (4-18):

$$\tau_{\max} \leq \tau_{fad,a} \quad (4-16)$$

$$\sigma_{\max} \leq \sigma_{fad,a} \quad (4-17)$$

$$\left(\frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{fad,a}} \right)^2 + \left(\frac{\tau_{\max}}{\tau_{fad,a}} \right)^2 \leq 1 \quad (4-18)$$

Tabela 52 - Tração e compressão - GR.3

Material e cordão de solda.

Tensões admissíveis de fadiga (valores de σ_{da} e σ_{ya} da fórmula 5) daN/mm².

T: tração ou tração > compressão C: compressão ou compressão > tração.

	Elementos não soldados						Elementos soldados										
R	W ₀		W ₁		W ₂		K ₀		K ₁		K ₂		K ₃		K ₄		
	T	C	T	C	T	C	T	C	T	C	T	C	T	C	T	C	
Aços de 37 daN/mm ² e 42 daN/mm ²																	
- 1	20,18	20,18	17,15	17,15	14,13	14,13	23,76	23,76	21,21	21,21	17,82	17,82	12,73	12,73	7,64	7,64	
- 0,9	21,02	21,24	17,87	18,06	14,72	14,87	24,75	25,01	22,09	22,33	18,55	18,76	13,26	13,40	7,95	8,04	
- 0,8	21,94	22,42	18,65	19,06	15,36	15,70	25,83	26,40	23,05	23,57	19,37	19,80	13,83	14,14	8,30	8,49	
- 0,7	22,93	23,74	19,49	20,18	16,05	16,62	27,00	27,95	24,10	24,95	20,25	20,96	14,46	14,97	8,68	8,98	
- 0,6	24,03	25,23	20,12	21,44	16,82	17,66	27,75	29,70	25,25	26,51	21,21	22,27	15,15	15,91	9,09	9,55	
- 0,5	25,23	26,91	21,44	22,87	17,66	18,84	31,68	31,68	26,51	28,28	22,27	23,76	15,91	16,97	9,55	10,18	
- 0,4	26,55	28,83	22,57	24,51	18,59	20,18		33,30	27,75	30,30	23,47	25,46	16,75	18,18	10,05	10,91	
- 0,3	27,75	31,05	23,83	26,39	19,62	21,73	32,63	32,63	24,75	27,41	17,68	19,58	10,61	11,75	11,23	12,73	
- 0,2	33,30	33,30	25,25	28,59	20,78	23,55			26,20	29,70	18,72	21,21					
- 0,1			26,80	31,19	22,07	25,69	33,30	33,30	27,75	32,40	19,89	23,14	11,93	13,88	12,73	15,28	
0	27,75	33,30			23,55	28,25			33,30	33,30	21,21	25,46	12,73	15,28			
0,1			23,91	28,69	24,29	29,15	25,07	30,08			21,72	26,06	13,46	16,15	14,28	17,14	
0,2	24,29	29,15							22,26	26,71	22,26	26,71	14,28	17,14			
0,3		24,67	29,60	25,07	30,08	25,48	30,58				22,82	27,38	15,20	18,24	16,25	19,50	
0,4	25,07						30,08							24,04			28,85
0,5		25,48	30,58	25,90	31,08	26,34	31,61			24,70	29,64	18,85	22,62		20,50	24,60	
0,6	26,34						31,61							26,14			31,37
0,7		26,79	32,15	27,26	32,71	27,75	33,30			26,92	32,30	22,45	26,94		24,82	29,73	
0,8	27,26						32,71							27,75			33,30
0,9		27,75	33,30	27,75	33,30					27,75	33,30	27,75	33,30				
+ 1	27,75	33,30	27,75	33,30	27,75	33,30	27,75	33,30	27,75	33,30	27,75	33,30	27,75	33,30	27,75	33,30	

Figura 4-6 - Tração e compressão para o grupo 3. [15]

Tabela 53 - Cisalhamento e pressão diametral - GR.3

Material - cordão de solda - parafusos e rebites.

Tensões admissíveis de fadiga (valores de τ_{da} da fórmula 5) daN/mm².

R	Cisalhamento no material		Cisalhamento no cordão de solda		Parafusos e rebites			
					Cisalhamento simples		Cisalhamento múltiplo	
	Aço 37 e 42 daN/mm²	Aço 52 daN/mm²	Aço 37 e 42 daN/mm²	Aço 52 daN/mm²	Aço 37 e 42 daN/mm²	Aço 52 daN/mm²	Aço 37 e 42 daN/mm²	Aço 52 daN/mm²
- 1	11,65	13,24	16,80	16,80	8,47	9,63	11,30	12,84
- 0,9	12,14	13,79	17,50	17,50	8,83	10,03	11,77	13,38
- 0,8	12,67	14,39	18,26	18,26	9,21	10,47	12,29	13,96
- 0,7	13,24	15,05	19,09	19,09	9,63	10,94	12,84	14,59
- 0,6	13,87	15,76	19,62	20,00	10,09	11,46	13,46	15,29
- 0,5	14,57	16,55	↓	21,00	10,59	12,03	14,13	16,05
- 0,4	15,33	17,42		22,10	11,15	12,67	14,87	16,90
- 0,3	16,02	18,39	↓	23,33	11,77	13,37	15,70	17,83
- 0,2	↓	19,47		24,71	12,46	14,16	16,62	18,88
- 0,1		20,69	↓	26,26	13,24	15,04	17,66	20,06
0	22,06	27,58		14,13	16,05	18,84	21,40	
0,1	↓	22,11	↓	14,36	16,57	19,13	22,10	
0,2		22,15		14,57	17,12	19,43	22,83	
0,3	22,19	↓		14,80	17,71	19,74	23,62	
0,4	22,24			15,04	18,35	20,06	24,47	
0,5	22,29	↓		15,28	19,03	20,38	25,38	
0,6	22,33			15,54	19,77	20,72	26,37	
0,7	22,38	↓		15,80	20,57	21,07	27,43	
0,8	22,42			16,07	21,43	21,43	28,58	
0,9	22,47	↓		16,35	22,37	21,81	29,83	
+ 1	16,02	22,52	19,62	27,58	16,65	23,40	22,20	31,20

Figura 4-7 - Cisalhamento e pressão diametral para o grupo 3. [15]

Para a barra de modulação do piso, as tensões mínimas resultam em 0, pois é quando o equipamento está descarregado, no solo.

$$\tau_{min} = \frac{V}{A_{ST}} = 0 \text{ kN/cm}^2 \quad (4-19)$$

$$\sigma_{min} = \frac{N}{A_{ST}} + \frac{M}{W_x} = 0 \text{ kN/cm}^2 \quad (4-20)$$

Utilizando essas tensões máximas e mínimas, o coeficiente R calculado para as solicitações ao cisalhamento e em tração e compressão são respectivamente:

$$R_\tau = 0 \quad (4-21)$$

$$R_\sigma = 0 \quad (4-22)$$

Ao realizar as 3 verificações propostas, observa-se que as tensões máximas que atuam na barra de modulação do piso não ultrapassam a tensão de limite de fadiga admissível.

$$\tau_{m\acute{a}x} \leq \tau_{fad,a} \therefore 0,4 \leq 16,02 \text{ kN/cm}^2 \quad (4-23)$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} \leq \sigma_{fad,a} \therefore 4,61 \leq 27,75 \text{ kN/cm}^2 \quad (4-24)$$

$$\left(\frac{\sigma_{m\acute{a}x}}{\sigma_{fad,a}} \right)^2 + \left(\frac{\tau_{m\acute{a}x}}{\tau_{fad,a}} \right)^2 \leq 1 \therefore 0,03 \leq 1 \quad (4-25)$$

Observa-se que as tensões máximas que atuam sobre a barra de modulação do piso não superam a tensão de fadiga admissível. Assim, conclui-se que esse perfil selecionado está apto a suportar os esforços sem ocorrência de falha por fadiga.

4.2 PROJETO DO GUARDA-CORPO

Para o dimensionamento do guarda corpo considerou-se que toda a carga suportada pelo piso e sua estrutura são transferidas diretamente para a barra inferior do guarda corpo, denominada barra de apoio.



Figura 4-8 - Guarda corpo projetado

Escolheu-se um perfil tubular 50mm x 30mm x 2mm. A Tabela 4-4 mostra as propriedades dimensionais do perfil utilizado no módulo do guarda-corpo.

Tabela 4-4 – Propriedades dimensionais do perfil horizontal dos guarda-corpos

A_{ST} (cm ²)	3,04
W_x (cm ³)	4,06
J_x (cm ⁴)	10,16
W_y (cm ³)	3,01
J_y (cm ⁴)	4,51
Peso (kg/m)	0,02386

O projeto do guarda-corpo frontal e traseiro, considera os esforços devido ao peso próprio (PP_{bagc}), a sobrecarga do equipamento (SC) e o peso próprio do piso (PP_{piso}). A carga referente à inércia do piso corresponde ao peso de todas as barras que compõe a estrutura de modulação. O PP_{bagc} corresponde ao peso do elemento, dado pela Tabela 4-4, e o valor total da carga aplicada sobre a barra de apoio do guarda corpo é dado pela equação (4-26)

$$Q_{BGC} = PP_{bagc} + PP_{piso} + SC \quad (4-26)$$

$$Q_{BGC} = 0,024 + (0,45 + 4) \cdot 0,4 = 1,80 \text{ kN/m}$$

O diagrama com os carregamentos considerados para o guarda-corpo é mostrado na Figura 4-9, sendo utilizado o software FTOOLS para a elaboração do mesmo. Na construção do Diagrama de corpo livre (DCL), considerou-se que a carga Q_{BGC} é aplicada sobre a barra de apoio do guarda corpo as demais cargas são referentes ao peso próprio de cada uma das barras como indicado na Figura 4-9.

A transferência dessa carga por meio ocorre através dos parafusos que fazem a junção entre os guarda corpos e o módulo lateral, sendo que os apoios mostrados na figura representam esses parafusos, pois eles suportam a solicitação vertical de trabalho. A estrutura do guarda corpo foi analisada de forma modular, pois tal abordagem permite avaliar a rigidez estrutural de todo o módulo.

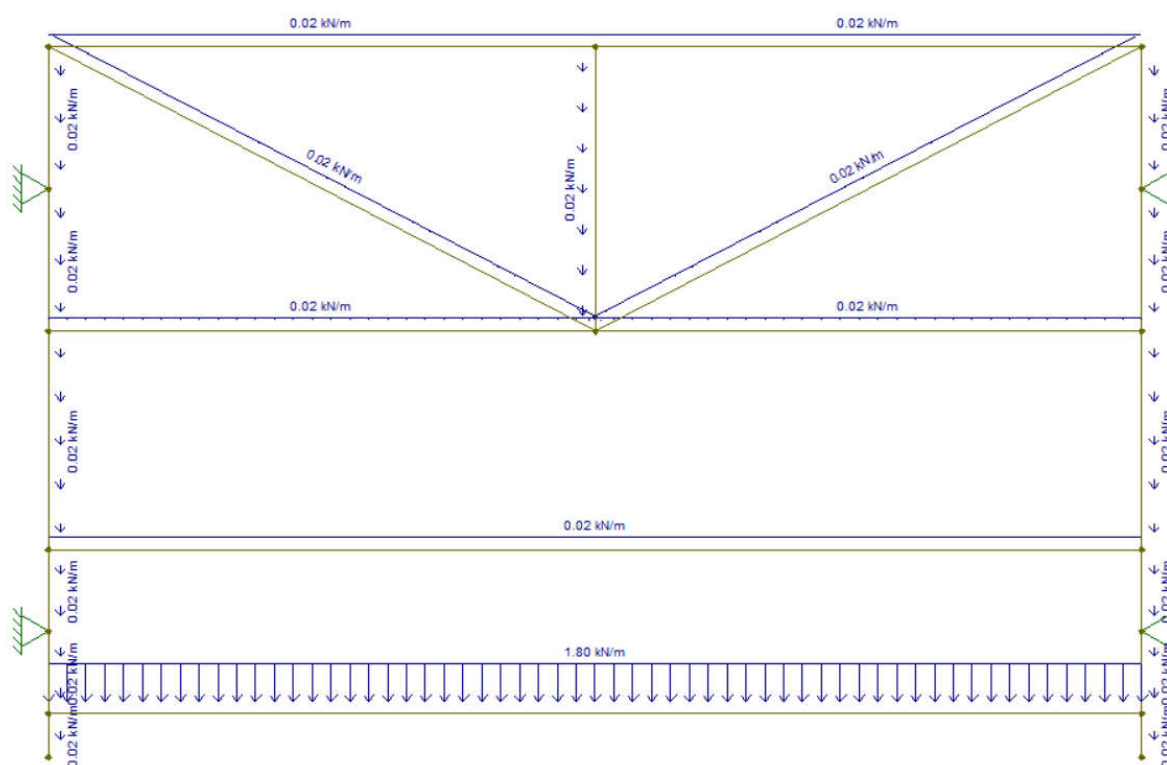


Figura 4-9 - Diagrama de carregamentos dos guarda-corpos

As linhas em azul na Figura 4-10 representam o diagrama de esforço cortante ao longo de cada um dos elementos, e as reações indicadas pelas setas referem-se às cargas de reação devido aos apoios considerados. Como resultado da análise tem-se que os maiores esforços cortante nas barras de apoio e na barra vertical são, respectivamente, 1,8kN e 4kN, como indicado na Figura 4-10 pelos círculos e setas. Já as cargas concentradas indicadas nos apoios das barras verticais são o esforço cortante e esforço normal, dados por 2,2 kN e 4kN respectivamente.

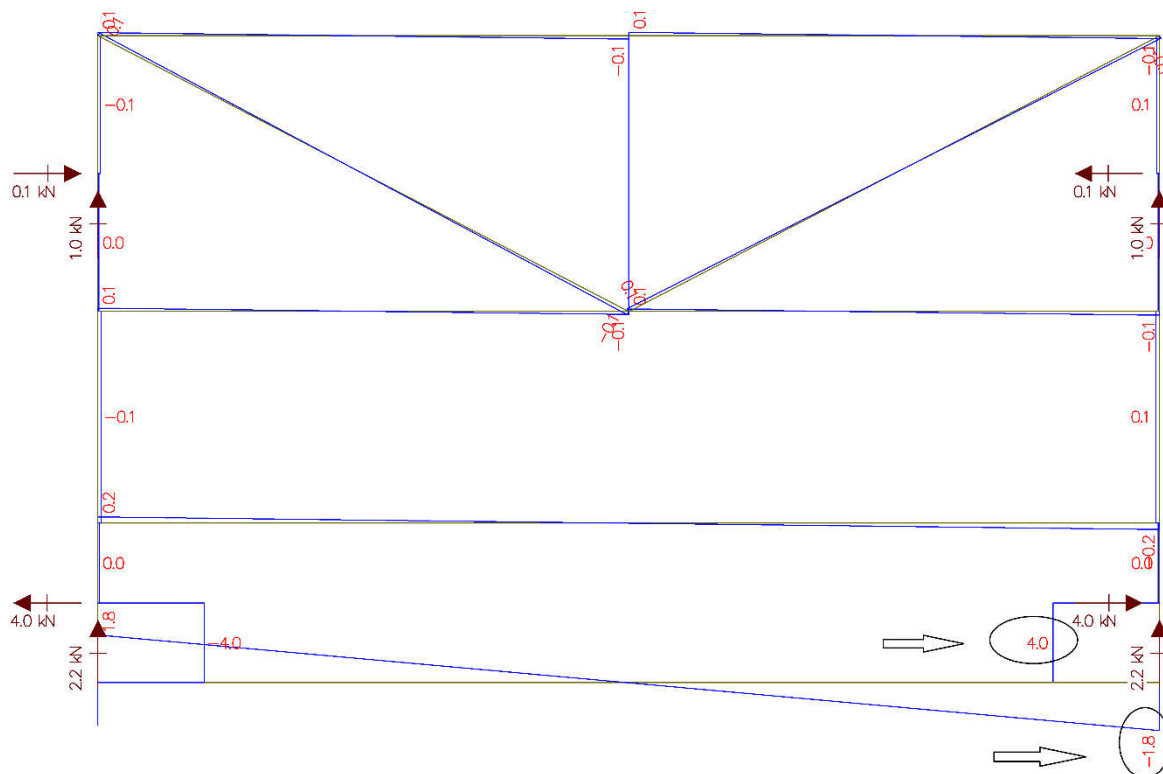


Figura 4-10 - Diagrama de esforço cortante no guarda-corpo

O diagrama de momento fletor nas peças do guarda-corpo é mostrado na Figura 4-11, tal como o diagrama anterior, é avaliado todo módulo e o maior momento fletor máximo das barras de apoio e vertical são ambos de 56kN.cm e ocorre próximo a região do apoio inferior da barra vertical como indicado na Figura 4-11 pelas setas e círculos.

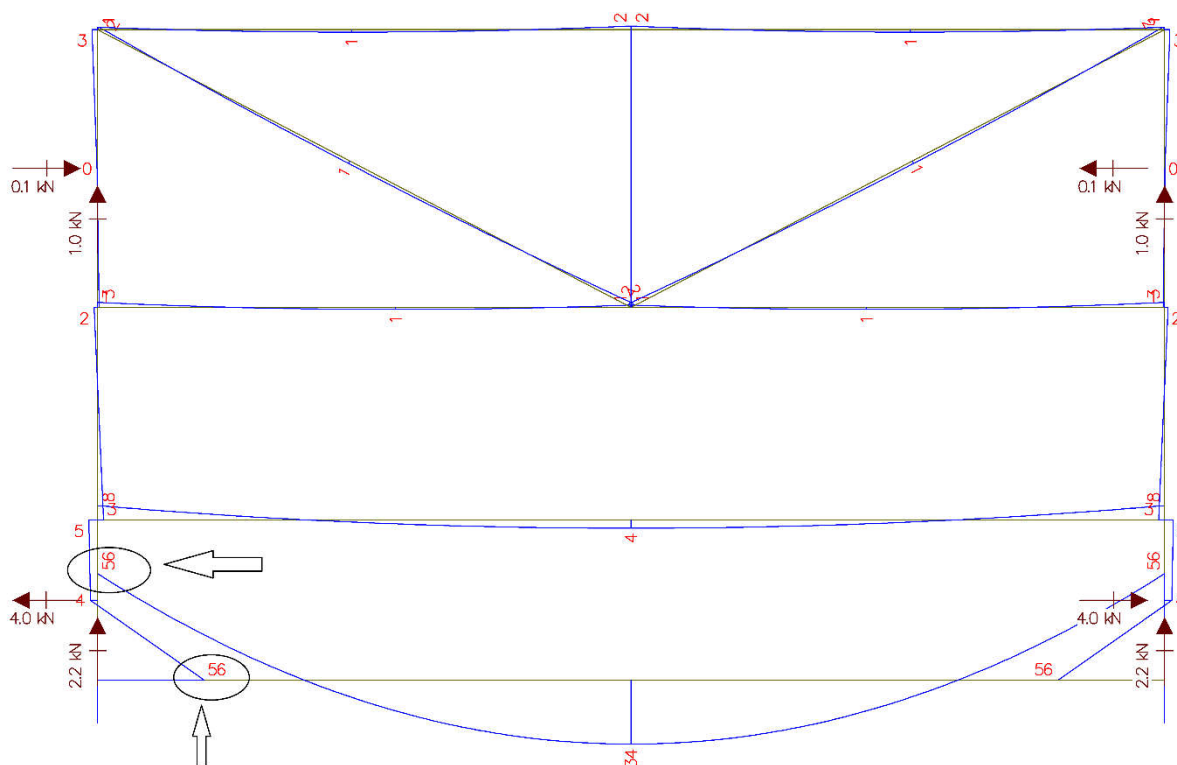


Figura 4-11 - Diagrama de momento fletor no guarda-corpo

A verificação contra a deflexão máxima foi realizada utilizando o software FTOOL, obtendo uma flecha máxima de 4,47 mm, como mostra a Figura 4-12, estando dentro da tolerância de 5 mm da norma NBR 8400.

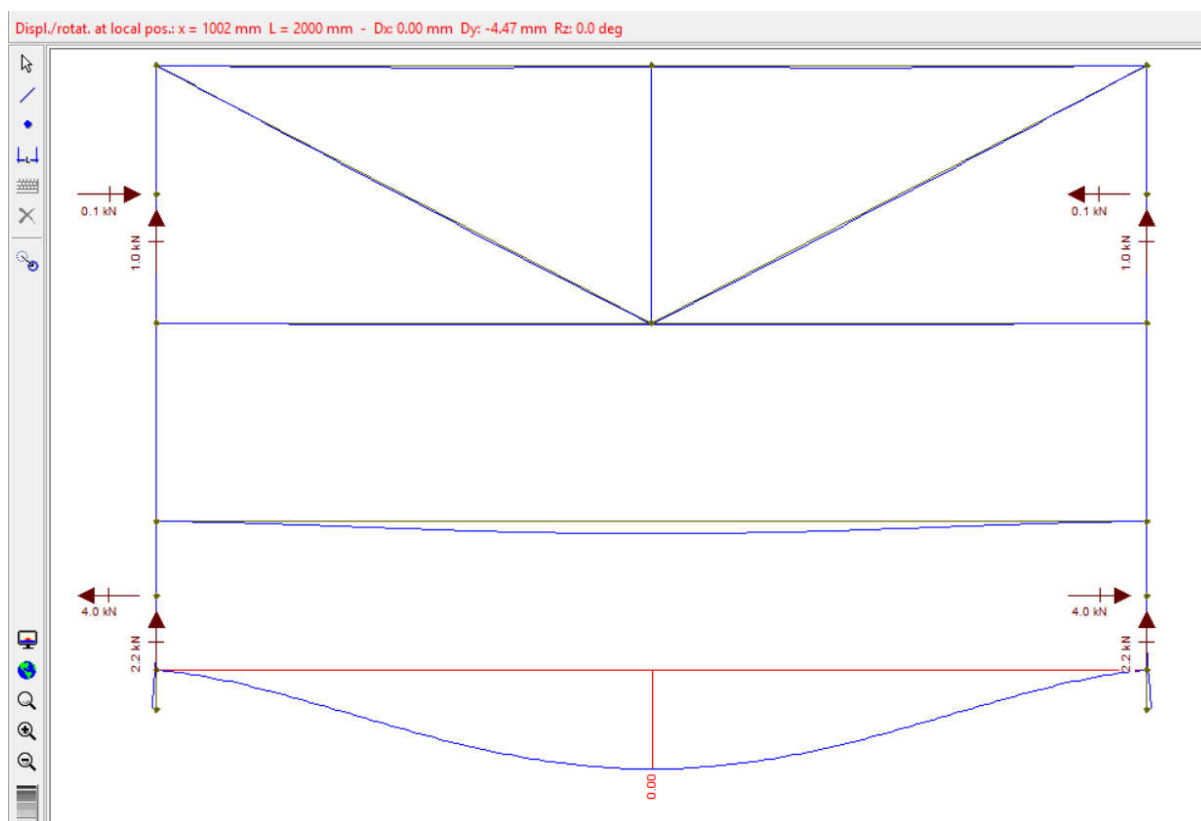


Figura 4-12 - Deflexão máxima de 4,47 mm no guarda-corpo

A horizontal beam of length 10m is shown. A central point load of 10kN is applied downwards at the midpoint. At each end of the beam, there is a triangular load with a peak intensity of 10kN/m. The triangular loads are oriented with their peaks at the ends and zero intensity at the midpoint.

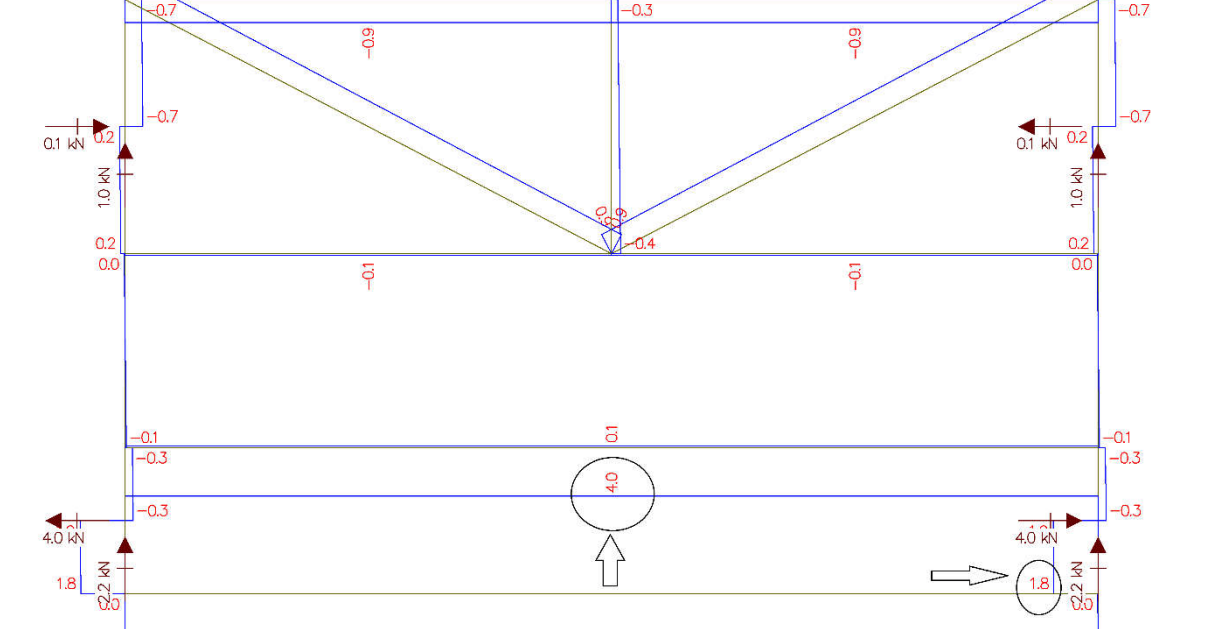


Figura 4-13 - Diagrama de esforço normal no guarda-corpo, máximo 1,8 kN

Realiza-se a verificação contra o escoamento na barra mais solicitada do guarda (barra de apoio)

- corpo a fim de garantir que as tensões máximas que atuam nesse elemento não ultrapassem o limite de escoamento do material. Por ser um elemento solicitado a esforços combinados, são realizadas as seguintes verificações:

- $\tau = \tau_{\max} \cdot M_X \leq \tau_a$
- $\sigma = \sigma_{\max} \cdot M_X \leq \sigma_a$
- $\sigma_{cp} = M_X \cdot \sqrt{\sigma_{\max}^2 + 3 \cdot \tau_{\max}^2} \leq \sigma_a$

O coeficiente de majoração e o material das barras do guarda-corpo já foram definidos anteriormente, assim $M_x = 1$, $\sigma_a = 188 \text{ MPa}$ e $\tau_a = 109 \text{ MPa}$.

Avaliando os diagramas de esforços internos do guarda-corpo calculados anteriormente foram indicadas as seções que estão sujeitas às máximas tensões. A tensão máxima cisalhante (V) vale 4 kN e é indicada na Figura 4-10, já o esforço normal máximo (N) é dado por 1,8kN como indicado na Figura 4-13 e o momento fletor máximo (M) é dado por 56kN/cm como mostrado na Figura 4-11. Os cálculos das tensões máximas resultam em:

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{V}{A_{ST}} = \frac{4,00}{3,04} = 1,32 \text{ kN/cm}^2 \quad (4-27)$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{N}{A_{ST}} + \frac{M}{W_x} = \frac{1,8}{3,04} + \frac{56}{4,06} = 14,38 \text{ kN/cm}^2 \quad (4-28)$$

Ao realizar as 3 verificações propostas, observa-se que as tensões máximas que atuam no elemento mais solicitado do guarda-corpo não ultrapassam o limite de escoamento do material.

$$\tau \leq \tau_a \div 1,32 \leq 10,9 \text{ kN/cm}^2 \quad (4-29)$$

$$\sigma \leq \sigma_a \div 14,38 \leq 18,8 \text{ kN/cm}^2 \quad (4-30)$$

$$\sigma_{cp} \leq \sigma_a \div 14,60 \leq 18,8 \text{ kN/cm}^2 \quad (4-31)$$

Para o guarda corpo, as tensões mínimas resultam em 0, pois é quando o equipamento está desmontado.

$$\tau_{min} = \frac{V}{A_{ST}} = 0 \text{ kN/cm}^2 \quad (4-32)$$

$$\sigma_{min} = \frac{N}{A_{ST}} + \frac{M}{W_x} = 0 \text{ kN/cm}^2 \quad (4-33)$$

Utilizando essas tensões máximas e mínimas, o coeficiente R calculado para as solicitações ao cisalhamento e em tração e compressão são respectivamente:

$$R_{\tau} = 0 \quad (4-34)$$

$$R_{\sigma} = 0 \quad (4-35)$$

Ao realizar as 3 verificações propostas, observa-se que as tensões máximas que atuam no guarda-corpo não ultrapassam a tensão de limite de fadiga admissível.

$$\tau_{m\acute{a}x} \leq \tau_{fad,a} \therefore 1,32 \leq 16,02 \text{ kN/cm}^2 \quad (4-36)$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} \leq \sigma_{fad,a} \therefore 14,42 \leq 27,75 \text{ kN/cm}^2 \quad (4-37)$$

$$\left(\frac{\sigma_{m\acute{a}x}}{\sigma_{fad,a}} \right)^2 + \left(\frac{\tau_{m\acute{a}x}}{\tau_{fad,a}} \right)^2 \leq 1 \therefore 0,29 \leq 1 \quad (4-38)$$

Observa-se que as tensões máximas que atuam sobre o elemento estrutural mais solicitado do guarda-corpo não superam a tensão de fadiga admissível. Assim, conclui-se que esse perfil selecionado está apto a suportar os esforços sem ocorrência de falha por fadiga.

4.3 PROJETO DO MÓDULO LATERAL

Para o projeto do módulo lateral será considerado o dimensionamento levando em conta as reações derivadas do carregamento no guarda-corpo, assim como o peso próprio dos elementos do módulo lateral.

Escolheu-se um perfil tubular 50mm x 30mm x 2mm. A Tabela 4-5 mostra as propriedades dimensionais do perfil utilizado no módulo lateral.

Tabela 4-5 – Propriedades dimensionais do perfil para o módulo lateral

$A_{ST} \text{ (cm}^2\text{)}$	3,04
$W_x \text{ (cm}^3\text{)}$	4,06
$J_x \text{ (cm}^4\text{)}$	10,16
$W_y \text{ (cm}^3\text{)}$	3,01
$J_y \text{ (cm}^4\text{)}$	4,51
Peso (kN/m)	0,02386

O diagrama com os carregamentos considerados para o módulo lateral é mostrado na Figura 4-14 e foi desenvolvido pelo FTOOL. Para a construção desse Diagrama de Corpo Livre(DCL) considerou-se os carregamentos de 0,02kN/m para todas as barras da estrutural do módulo lateral, além das forças verticais transmitidas pelos parafusos, como pode ser visto nas cargas pontuais de 1kN nos pontos 2 e

3 da barra vertical e a carga de 2,2kN aplicada sobre os parafusos na região inferior da barra vertical, pontos 1 e 4.

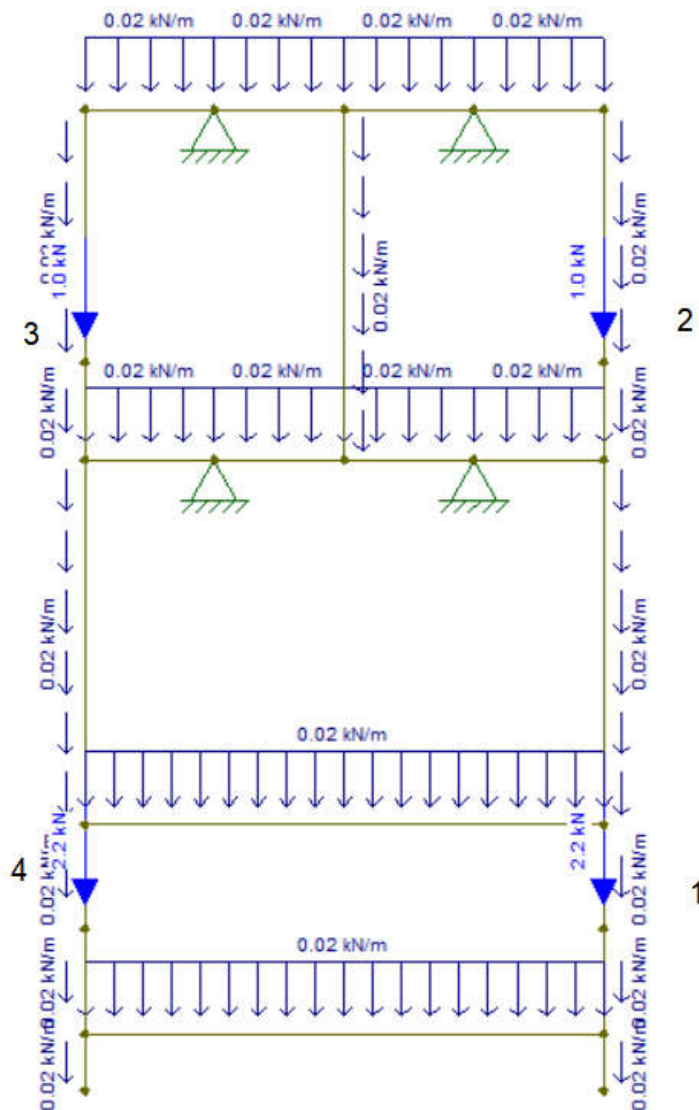


Figura 4-14 - Diagrama de carregamentos do módulo lateral

As condições de carregamento na estrutura e as propriedades das barras comerciais selecionadas, disponível na Tabela 4-5, foram inseridas no software FTOOLS, e através do mesmo foram elaborados os diagramas de esforço cortante, momento fletor, deflexão e esforço normal. Esses diagramas são mostrados e explicados ao longo dessa seção.

O diagrama de esforço cortante do módulo lateral é mostrado na Figura 4-15 e as setas representadas indicam os locais de maior valor do esforço cortante que é de 1,9kN e acontecem na barra horizontal do módulo lateral que suporta o moto-reductor.

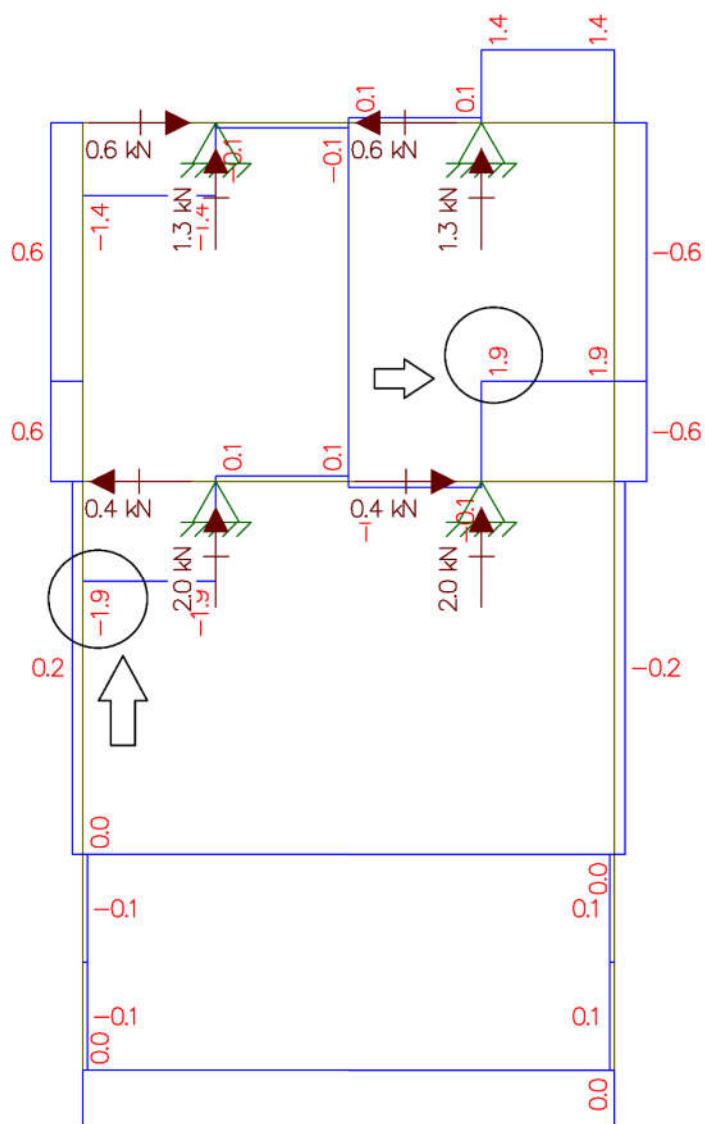


Figura 4-15 - Diagrama de esforço cortante no módulo lateral

O diagrama de momento fletor nas peças do módulo lateral é mostrado na Figura 4-16, e o maior momento fletor em todo o módulo ocorre na parte central das barras verticais e vale 23 kN.cm como mostrado pelas setas na Figura 4-16.

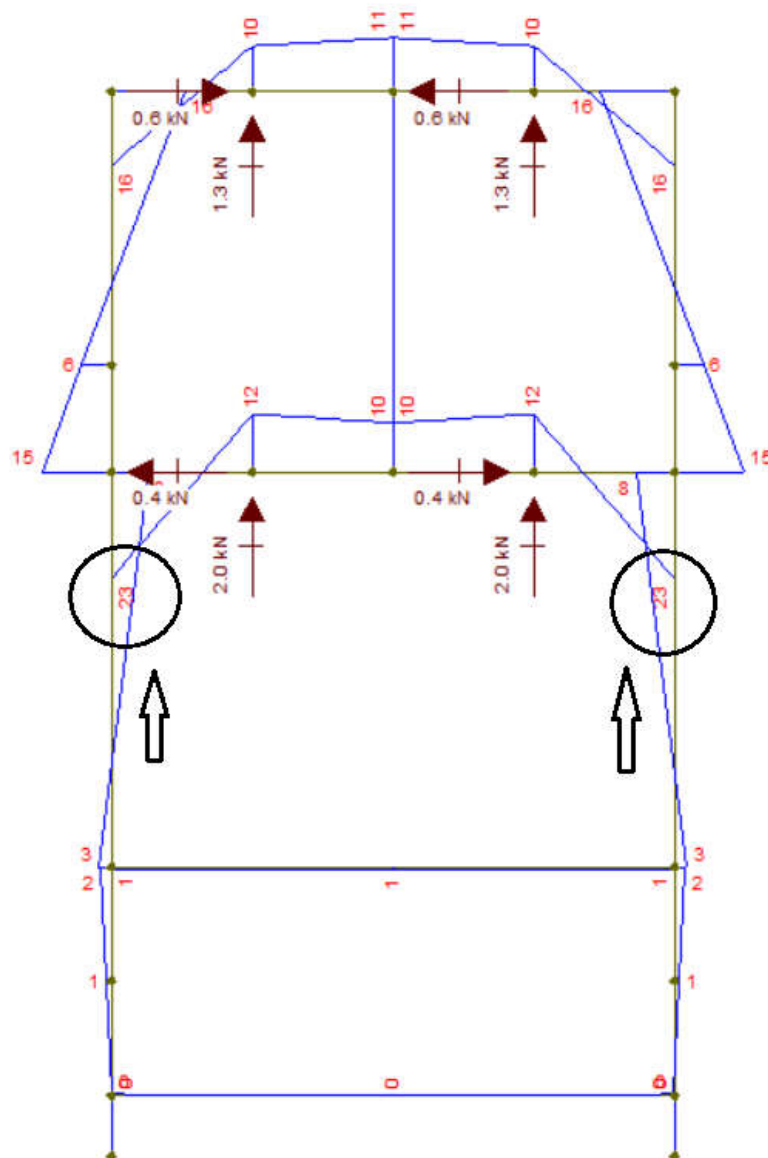


Figura 4-16 - Diagrama de momento fletor no módulo lateral

A verificação contra a deflexão máxima foi realizada utilizando o software FTOOL, obtendo uma flecha máxima de 0,19 mm, como mostra a Figura 4-17 na legenda dos resultados na parte superior, estando dentro da tolerância de 5 mm da norma NBR 8400.

Displ./rotat. at local pos.: x = 374 mm L = 740 mm - Dx: 0.00 mm Dy: -0.23 mm Rz: 0.0 deg

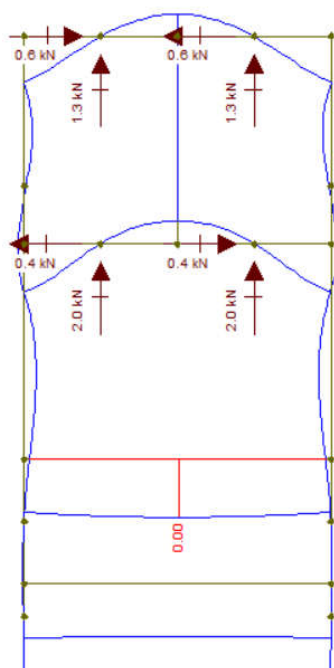


Figura 4-17 - Deflexão máxima de 0,19 mm no módulo lateral

O diagrama de esforço normal do módulo lateral é mostrado na Figura 4-18, onde é possível verificar o esforço normal máximo de 2,2 kN, que ocorre nas barras verticais, sendo indicado pela seta na Figura 4-18.

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{V}{A_{ST}} = \frac{1,9}{3,04} = 0,63 \text{ kN/cm}^2 \quad (4-39)$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{N}{A_{ST}} + \frac{M}{W_x} = \frac{2,2}{3,04} + \frac{23}{4,06} = 6,39 \text{ kN/cm}^2 \quad (4-40)$$

Ao realizar as 3 verificações propostas, observa-se que as tensões máximas que atuam no elemento mais solicitado não ultrapassam o limite de escoamento do material.

$$\tau \leq \tau_a \therefore 0,63 \leq 10,9 \text{ kN/cm}^2 \quad (4-41)$$

$$\sigma \leq \sigma_a \therefore 6,39 \leq 18,8 \text{ kN/cm}^2 \quad (4-42)$$

$$\sigma_{cp} \leq \sigma_a \therefore 6,48 \leq 18,8 \text{ kN/cm}^2 \quad (4-43)$$

Para o módulo lateral, as tensões mínimas resultam em 0, pois é quando o equipamento está desmontado.

$$\tau_{min} = \frac{V}{A_{ST}} = 0 \text{ kN/cm}^2 \quad (4-44)$$

$$\sigma_{min} = \frac{N}{A_{ST}} + \frac{M}{W_x} = 0 \text{ kN/cm}^2 \quad (4-45)$$

Utilizando essas tensões máximas e mínimas, o coeficiente R calculado para as solicitações ao cisalhamento e em tração e compressão são respectivamente:

$$R_\tau = 0 \quad (4-46)$$

$$R_{\sigma} = 0 \quad (4-47)$$

Ao realizar as 3 verificações propostas, observa-se que as tensões máximas que atuam no elemento mais solicitado do módulo lateral não ultrapassam a tensão de limite de fadiga admissível.

$$\tau_{m\acute{a}x} \leq \tau_{fad,a} \therefore 0,63 \leq 16,02 \text{ kN/cm}^2 \quad (4-48)$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} \leq \sigma_{fad,a} \therefore 6,48 \leq 27,75 \text{ kN/cm}^2 \quad (4-49)$$

$$\left(\frac{\sigma_{m\acute{a}x}}{\sigma_{fad,a}} \right)^2 + \left(\frac{\tau_{m\acute{a}x}}{\tau_{fad,a}} \right)^2 \leq 1 \therefore 0,06 \leq 1 \quad (4-50)$$

Observa-se que as tensões máximas que atuam sobre o elemento estrutural mais solicitado do módulo lateral não superam a tensão de fadiga admissível. Assim, conclui-se que esse perfil selecionado está apto a suportar os esforços sem ocorrência de falha por fadiga.

4.4 REAÇÕES NOS CABOS

O diagrama de corpo livre no plano normal ao guarda-corpo traseiro é apresentado na Figura 4-19. A carga de utilização distribuída é calculada como mostra a equação (4-51). O peso próprio total da estrutura (m_{tot}) é de aproximadamente 195 kg, e foi extraído a partir do modelo desenvolvido no software SOLIDWORKS, a esse valor deve ser adicionado o peso do sistema de acionamento vendido comercialmente que é de aproximadamente 100kg, logo o peso total do andaime suspenso motorizado é igual a 295 kg. A carga total (Q_a) do sistema é formada pelo peso total da estrutura (PP), considerando a plataforma e sistema de acionamento e a carga de trabalho (Q_{SC}), como pode ser visto na figura (4-51).

$$Q_a = PP + Q_{SC} = \frac{m_{tot} \cdot 9,81}{2} + \frac{M_x \cdot SC}{2} \quad (4-51)$$

$$Q_a = \frac{2,68 \text{ kN}}{2} + \frac{1*6,4 \text{ kN}}{2} = 4,54 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

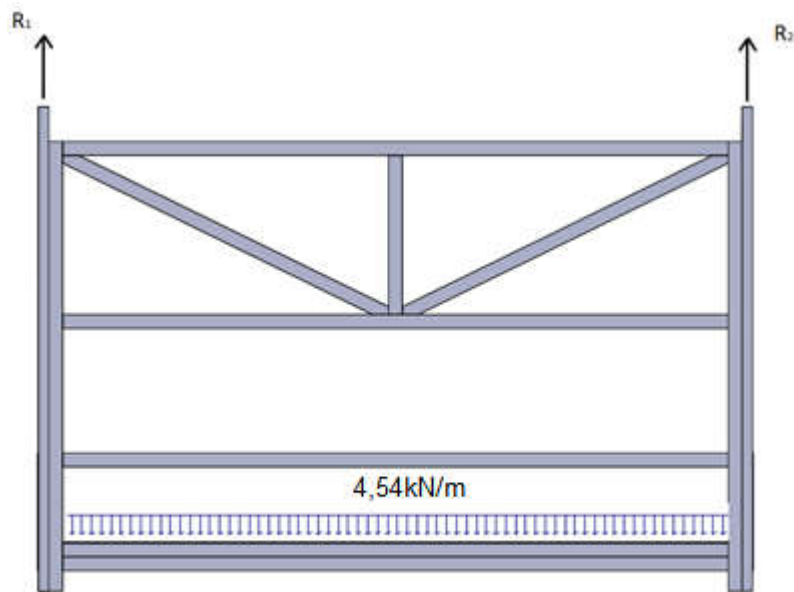


Figura 4-19 – Diagrama de corpo livre do andaime completo

As reações nos cabos de tração do sistema são calculadas como mostra a equação (4-52).

$$\sum M_1 = 0 = R_2 * 2 - 4,54 * 2 * 1 = 0 \quad (4-52)$$

$$R_2 = R_1 = 4,54 \text{ kN}$$

Os valores de R_2 e R_1 são as forças de reação nos cabos de aço, e serão utilizados como referência para a seleção do sistema de acionamento e o cabo de aço, ambos disponíveis em modelos comerciais.

5 ELEMENTOS MECÂNICOS

5.1 JUNÇÕES SOLDADAS

O cálculo dos elementos soldados no sistema é realizado utilizando a metodologia presente na NBR 8400. De acordo a norma o metal de solda utilizado para o processo possui propriedades de resistência mecânica tão boas quanto as do metal de base. A tensão de ruptura do eletrodo utilizado é superior ao metal de base.

As tensões desenvolvidas nas junções soldadas, quando sujeitas à tração e compressão longitudinal, não devem ultrapassar a tensão admissível, σ_a , dada por:

$$\sigma_a = \frac{\sigma_e}{1,33} \quad (5-1)$$

Para o cisalhamento nos cordões de solda a tensão admissível, τ_a , é dado pela relação:

$$\tau_a = \frac{\sigma_a}{\sqrt{2}} \quad (5-2)$$

Para o caso de solicitações combinadas de tração (ou compressão) e de cisalhamento, deve-se calcular a tensão de comparação por

$$\sigma_{cp} = \sqrt{\sigma^2 + 2\tau^2} \quad (5-3)$$

Para a verificação contra falhas devido as tensões combinadas, compara-se a tensão calculada com a tensão de comparação admissível $\sigma_{cp,a}$.

Tensão de ruptura do aço da N/mm ²	37			42			52		
Casos de solicitação	Caso I	Caso II	Caso III	Caso I	Caso II	Caso III	Caso I	Caso II	Caso III
Tipos de solicitação									
Tensões de comparação longitudinais para qualquer tipo de cordão de solda	16,0	18,0	21,5	17,5	19,5	24,0	24,0	27,0	32,5
Tensões transversais em tração:									
a) solda topo a topo e solda em K, qualidade especial	16,0	18,0	21,5	17,5	19,5	24,0	24,0	27,0	32,5
b) solda em K, qualidade comum	14,0	15,8	18,5	15,3	17,0	21,0	21,0	23,6	28,5
c) solda em ângulo	11,3	12,7	15,2	12,4	13,8	17,0	17,0	19,1	24,0
Tensões transversais em compressão:									
a) solda topo a topo e solda em K	16,0	18,0	21,5	17,5	19,5	24,0	24,0	27,0	32,5
b) solda em ângulo	13,0	14,6	17,5	14,2	15,8	19,5	19,5	22,0	26,5
Cisalhamento em todos os tipos de solda	11,3	12,7	15,2	12,4	13,8	17,0	17,0	19,1	24,0

Todas as junções soldadas do andaime foram feitas soldas de ângulo(filete), e a espessura da região em que é realizada a solda, h_{solda} , representa a garganta mostrada, como mostrado na . O comprimento considerado será o comprimento efetivo do cordão exceto as eventuais imperfeições na extremidade.

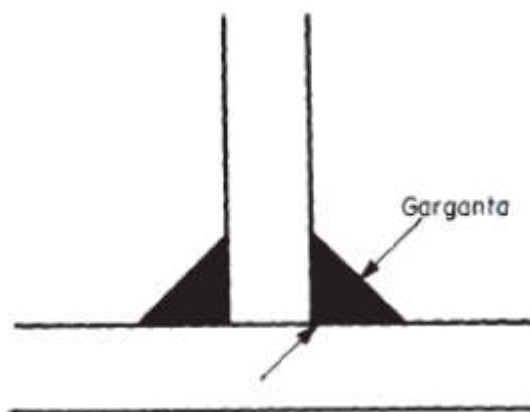


Figura 5-1 - Garganta da solda de filete

A estrutura do equipamento possui diversas regiões em que serão necessários o uso do processo de soldagem. Em vista de garantir a segurança do sistema serão avaliadas as tensões de trabalho no sistema e verificar se as mesmas não excedem as tensões admissíveis do material.

O dimensionamento das soldas será conduzido por meio da análise do elemento mais solicitado de cada uma das partes principais que compõe o equipamento.

5.1.1 Piso

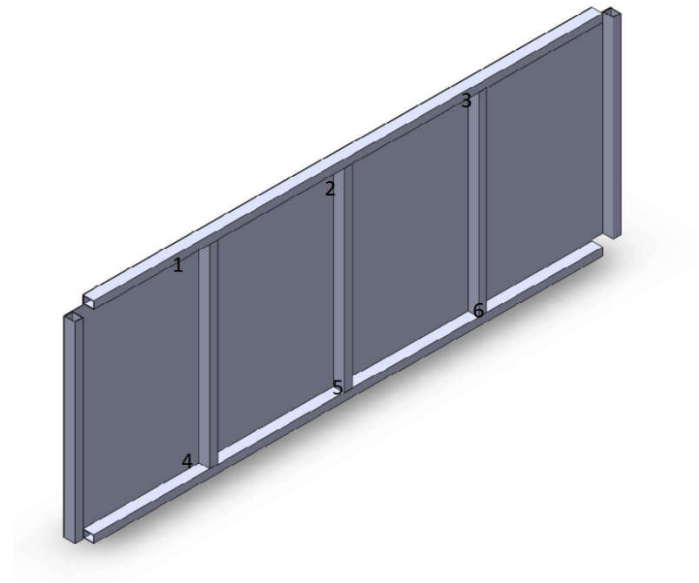


Figura 5-2 - Regiões de aplicação de solda no piso

Os algarismos indicados na figura representam as regiões de aplicação de solda na estrutura modular do piso e tem como função conectar as barras transversais com o perfil retangular longitudinal ao piso. As peças são fabricadas com o mesmo material, aço A56, com tensão de ruptura e resistência ao escoamento, respectivamente, de 450MPa e 250 MPa. A solda utilizada é uma solda de filete com garganta de 5 mm realizada ao longo do perfil da barra retangular. O metal de solda usado é o E6013, que possui valores de tensão de ruptura e tensão de escoamento, respectivamente, iguais a 490 MPa e 350 Mpa.

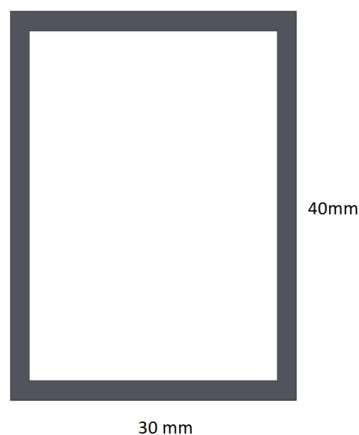


Figura 5-3 - Perfil da barra piso

A área da garganta é dada por:

$$A = 1,414 \times h_{solda} \times (b + d) \quad (5-4)$$

$$A = 1,414 \times 5 \text{ mm} \times (40\text{mm} + 30\text{mm}) = 494,9 \text{ mm}^2$$

A região está submetida ao esforço de cisalhamento e compressão na situação de momento máximo, que ocorre quando a máquina suporta a carga nominal.

A tensão de cisalhamento desenvolvida na região é:

$$\tau = \frac{R_{PY}}{A} = \frac{800}{494,9} = 1,62 \text{ MPa} \quad (5-5)$$

A tensão de compressão é:

$$\sigma = \frac{N_{PX}}{A} = \frac{4010}{494,9} = 8,10 \text{ MPa} \quad (5-6)$$

Para tensão combinada

$$\sigma_{cp} = \sqrt{\sigma^2 + 2\tau^2} = 3,65 \text{ MPa} \quad (5-7)$$

O metal de base possui propriedades menos resistentes que o metal de solda, a verificação das tensões atuantes e tensões admissíveis são feitas para o aço A36:

$$\tau \leq \tau_a \rightarrow 1,62 \text{ MPa} \leq 188 \text{ MPa} \quad (5-8)$$

$$\sigma \leq \sigma_a \rightarrow 8,10 \text{ MPa} \leq 132,93 \text{ MPa} \quad (5-9)$$

$$\sigma_{cp} \leq \sigma_{cp,a} \rightarrow 5,61 \text{ MPa} \leq 160 \text{ MPa} \quad (5-10)$$

Portanto a solda dimensionada está de acordo com a norma conferindo segurança ao projeto.

5.1.2 Guarda Corpo

O procedimento para verificação da resistência da solda será realizado considerando que o elemento mais solicitado do guarda corpo é a barra inferior. A partir da verificação de resistência para esse elemento estende-se a especificação alcançada para os demais elementos, uma vez que estão submetidos a esforços menores.

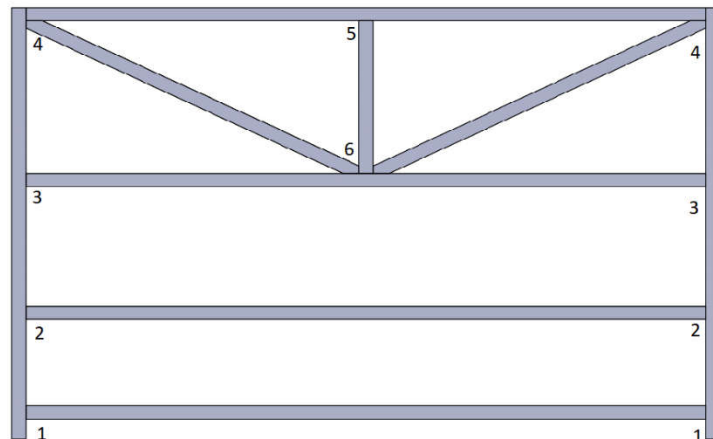


Figura 5-4 - Regiões do guarda corpo

A região 1 é a mais solicitada do guarda corpo e tem como função conectar a barra horizontal com o perfil vertical, formando um ângulo de 90°. As peças são fabricadas com o mesmo material, aço A56, com tensão de ruptura e resistência ao escoamento, respectivamente, de 450MPa e 250 MPa. A solda utilizada é uma solda de filete com garganta de 5 mm realizada ao longo do perfil da barra retangular. O metal de solda usado é o E6013, que possui valores de tensão de ruptura e tensão de escoamento, respectivamente, iguais a 490 MPa e 350 Mpa.

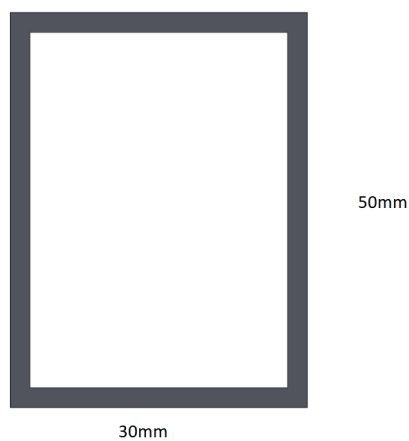


Figura 5-5 - Seção transversal barra guarda corpo

A área da garganta é dada por:

$$A = 1,414 \times h_{solda} \times (b + d) \quad (5-11)$$

$$A = 1,414 \times 5 \text{ mm} \times (50\text{mm} + 30\text{mm}) = 565,6 \text{ mm}^2$$

A região está submetida ao esforço de cisalhamento e compressão na situação de momento máximo, que ocorre quando a máquina suporta a carga nominal.

A tensão de cisalhamento desenvolvida na região é:

$$\tau = \frac{R_{GC}}{A} = \frac{1800}{565,6} = 3,18 \text{ MPa} \quad (5-12)$$

A tensão de compressão é:

$$\sigma = \frac{N_{GC}}{A} = \frac{1900}{565,6} = 3,36 \text{ MPa} \quad (5-13)$$

Para tensão combinada

$$\sigma_{cp} = \sqrt{\sigma^2 + 2\tau^2} = 5,61 \text{ MPa} \quad (5-14)$$

O metal de base possui propriedades menos resistentes que o metal de solda, a verificação das tensões atuantes e tensões admissíveis são feitas para o aço A36:

$$\tau \leq \tau_a \rightarrow 3,18 \text{ MPa} \leq 188 \text{ MPa} \quad (5-15)$$

$$\sigma \leq \sigma_a \rightarrow 3,36 \text{ MPa} \leq 132,93 \text{ MPa} \quad (5-16)$$

$$\sigma_{cp} \leq \sigma_{cp,a} \rightarrow 5,61 \text{ MPa} \leq 160 \text{ MPa} \quad (5-17)$$

Portanto a solda dimensionada está de acordo com a norma, conferindo segurança ao projeto.

5.1.3 Módulo da lateral

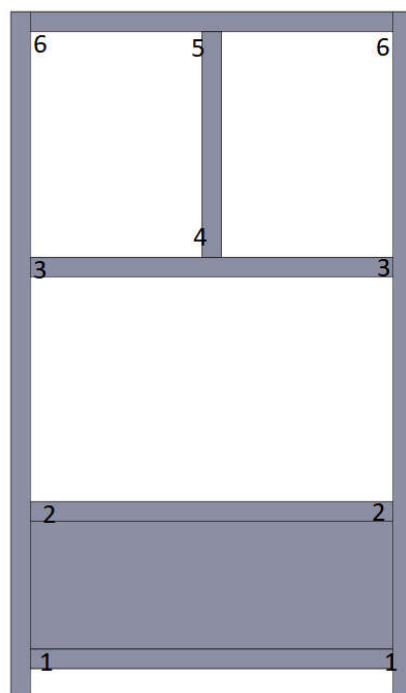


Figura 5-6 - Regiões de solda módulo lateral

Os números indicados na Figura 5-6 elemento indicado em seus extremos tem como função conectar a barra horizontal com o perfil vertical no módulo da lateral. As peças são fabricadas com o mesmo material, aço A56, com tensão de ruptura e resistência ao escoamento, respectivamente, de 450MPa e 250 MPa. A solda utilizada é uma solda de filete com garganta de 5 mm realizada ao longo do perfil da barra retangular. O metal de solda usado é o E6013, que possui valores de tensão de ruptura e tensão de escoamento, respectivamente, iguais a 490 MPa e 350 Mpa.

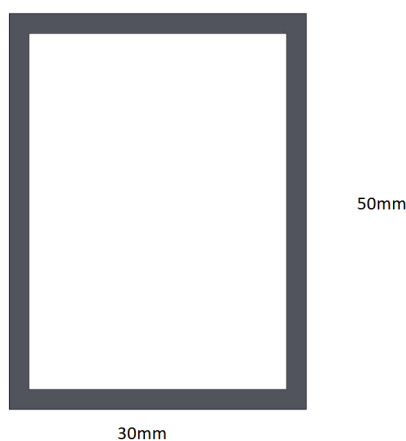


Figura 5-7 – Seção transversal barra do módulo lateral

A área da garganta é dada por:

$$A = 1,414 \times h_{solda} \times (b + d) \quad (5-18)$$

$$A = 1,414 \times 5 \text{ mm} \times (50 \text{ mm} + 30 \text{ mm}) = 565,6 \text{ mm}^2$$

A região está submetida ao esforço de cisalhamento e compressão na situação de momento máximo, que ocorre quando a máquina suporta a carga nominal.

A tensão de cisalhamento desenvolvida na região é:

$$\tau = \frac{R_{LY}}{A} = \frac{650}{565,6} = 1,15 \text{ MPa} \quad (5-19)$$

A tensão de compressão é:

$$\sigma = \frac{N_{LX}}{A} = \frac{6220}{565,6} = 11 \text{ MPa} \quad (5-20)$$

Para tensão combinada temos a tensão de comparação:

$$\sigma_{cp} = \sqrt{\sigma^2 + 2\tau^2} = 5,61 \text{ MPa} \quad (5-21)$$

O metal de base possui propriedades menos resistentes que o metal de solda, a verificação das tensões atuantes e tensões admissíveis são feitas para o aço A36:

$$\tau \leq \tau_a \rightarrow 1,15 \text{ MPa} \leq 188 \text{ MPa} \quad (5-22)$$

$$\sigma \leq \sigma_a \rightarrow 11 \text{ MPa} \leq 132,93 \text{ MPa} \quad (5-23)$$

$$\sigma_{cp} \leq \sigma_{cp,a} \rightarrow 11,12 \text{ MPa} \leq 160 \text{ MPa} \quad (5-24)$$

Portanto a solda dimensionada está de acordo com a norma conferindo segurança ao projeto.

5.2 PARAFUSOS

Em meio à grande quantidade de elementos de fixação existentes, os parafusos possuem grande importância para projetos mecânicos devido sua versatilidade. Além de exercer a função de unir elementos e garantir a resistência do sistema, os parafusos propiciam eficiência no transporte de peças pois podem ser montados no local de trabalho. Para o caso dos andaimes essa vantagem representa alto ganho de produtividade devido ao alto peso das peças e a frequente necessidade de realocação da máquina.

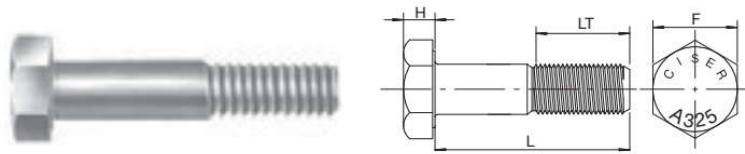


Figura 5-8 - Parafuso sextavado [21]

A apresenta as propriedades mecânicas de parafusos utilizados no projeto. Os parafusos que estão sob constante carregamento e exercem função estrutural são dimensionados nesta seção e mostrados os locais de encaixe por parafusos.

Tabela 5-1- Medidas e resistência de parafusos de aço [22]

Número de classe	Intervalo de diâmetro externo (mm)	Resistência mínima de prova (MPa)	Resistência mínima de escoamento (MPa)	Resistência mínima à tração (MPa)	Material
4,6	M5-M36	225	240	400	aço-carbono, médio ou baixo
4,8	M1,6-M16	310	340	420	aço-carbono, médio ou baixo
5,8	M5-M24	380	420	520	aço-carbono, médio ou baixo
8,8	M3-M36	600	660	830	carbono médio, Q&T
9,8	M1,6-M16	650	720	900	carbono médio, Q&T
10,9	M5-M36	830	940	1040	baixo carbono, martensítico, Q&T
12,9	M1,6-M36	970	1100	1220	liga, Q&T

Para o dimensionamento dos parafusos utilizou-se a metodologia presente na ABNT NBR 8400. De acordo com a norma nos parafusos trabalhando à tração e cisalhamento combinados, devem-se verificar as condições das equações (5-25),(5-26) e (5-27).

Para as tensões normais a verificação é:

$$\sigma \leq 0,65\sigma_a \quad (5-25)$$

Para as tensões de cisalhamento a relação a ser verificada é:

$$\tau \leq 0,6\sigma_a \quad (5-26)$$

Para tensões combinadas normais e de cisalhamento a verificação é:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \sigma_a \quad (5-27)$$

5.2.1 Encaixe Guarda corpo e lateral

A conexão entre guarda corpo e lateral ocorre nos dois lados do andaime e é realizada através de parafusos, a Figura 5-9 mostra as regiões das conexões aparafusadas entre o guarda corpo e a lateral.

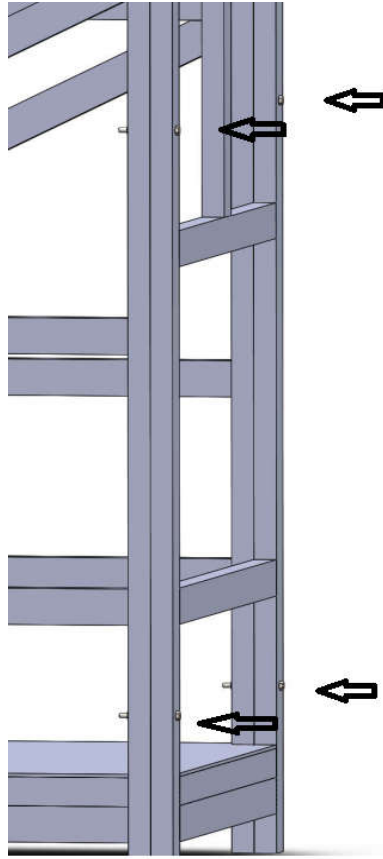


Figura 5-9 - Regiões de junta aparafusada

Foram selecionados 4 parafusos M7x0.8mm Classe 5,8 para cada encaixe, totalizando 8 parafusos. A verificação é realizada para um dos lados da máquina, e devido à simetria do sistema considera-se o mesmo resultado para a região oposta.

$$A = 4x \frac{\pi d_r^2}{4} = \pi x 5,77^2 \quad (5-28)$$

$$A = 104,6 \text{ mm}^2$$

Para o esforço normal, tem-se a seguinte tensão:

$$\sigma = \frac{R_{GX}}{A} = \frac{4000 \text{ N}}{104,6 \text{ mm}^2} = 38,24 \text{ MPa} \quad (5-29)$$

$$\sigma \leq 0,65\sigma_a \rightarrow 38,24 \text{ MPa} \leq 122 \text{ MPa} \quad (5-30)$$

Em relação aos esforços de cisalhamento, tem-se:

$$\tau = \frac{R_{Gy}}{A} = \frac{2200 \text{ N}}{104,6 \text{ mm}^2} = 21 \text{ MPa} \quad (5-31)$$

$$\tau \leq 0,6\sigma_a \rightarrow 21 \text{ MPa} \leq 112,8 \text{ MPa} \quad (5-32)$$

Para a tensão combinada, a relação é:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \sigma_a \rightarrow 52,77 \text{ MPa} \leq 188 \text{ MPa} \quad (5-33)$$

Portanto os parafusos M7x0,8 mm Classe 5,8 escolhidos resistem aos esforços solicitados e garantem a segurança do sistema.

5.2.2 Fixação do motor

O sistema de acionamento é fixado no modulo lateral, sendo realizado por junções aparafusadas. Os locais para a inserção dos parafusos estão indicados na Figura 5-10.

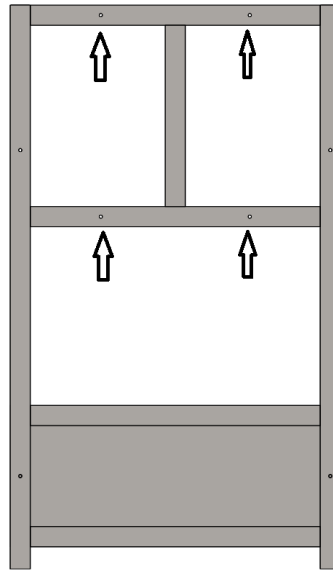


Figura 5-10 - Indicação dos furos para fixação do motor

Foram selecionados 8 parafusos M7x0.8mm Classe 5,8 para a fixação do motor, sendo 4 unidades para cada um dos módulos laterais. A verificação é realizada para uma das lateais, e devido à simetria do sistema considera-se o mesmo resultado para a região oposta.

$$A = 4x \frac{\pi d_r^2}{4} = \pi x 5,77^2 \quad (5-34)$$

$$A = 104,6 \text{ mm}^2$$

Para o esforço normal, tem-se a seguinte tensão:

$$\sigma = \frac{R_{lx}}{A} = \frac{400 \text{ N}}{104,6 \text{ mm}^2} = 3,824 \text{ MPa} \quad (5-35)$$

$$\sigma \leq 0,65\sigma_a \rightarrow 3,824 \text{ MPa} \leq 122 \text{ MPa} \quad (5-36)$$

Em relação aos esforços de cisalhamento, tem-se:

$$\tau = \frac{R_{ly}}{A} = \frac{2000 \text{ N}}{104,6 \text{ mm}^2} = 19,12 \text{ MPa} \quad (5-37)$$

$$\tau \leq 0,6\sigma_a \rightarrow 19,12 \text{ MPa} \leq 112,8 \text{ MPa} \quad (5-38)$$

Para a tensão combinada, a relação é:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \sigma_a \rightarrow 33,33 \text{ MPa} \leq 188 \text{ MPa} \quad (5-39)$$

Portanto os parafusos M7x0,8 mm Classe 5,8 escolhidos resistem aos esforços solicitados e garantem a segurança do sistema.

6 ACIONAMENTO E SEGURANÇA

6.1 SISTEMA DE ACIONAMENTO

O sistema de acionamento do andaime suspenso mecânico é dado por um conjunto moto-redutor que é acoplado à uma caixa de tração. Essa caixa de tração possui polia de acionamento em que o braço conectado à uma mola tem o papel de pressionar o cabo de aço para que o mesmo não deslize.

6.1.1 Seleção do moto redutor

Para o cálculo da potência necessária do motor é possível seguir a equação (6-1), que relaciona a força de reação no cabo de aço, F , com a velocidade de içamento do conjunto v , considerada igual à de modelos comerciais já que a norma não define o valor a ser utilizado, igual a 10 m/min.

$$P = F \cdot v$$
$$P = 4540 \text{ N} \times 0.167 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 758,18 \text{ W} = 1,03 \text{ cv} \quad (6-1)$$

Um dos modelos comerciais que atende a esta especificação de potência é o conjunto de moto redutor e freio eletromecânico modelo CS60 da ZUMAQ, mostrado na Figura 6-1. O conjunto inclui dois motores de 1,5 cv já acoplado ao redutor de velocidades para compatibilizar a rotação de saída do motor para a aplicação em andaimes, sendo fixados no módulo lateral. Adicionalmente, um freio eletromecânico acompanha o conjunto para que a rotação da caixa de transmissão seja impedida em caso de falta de energia. Todo o conjunto de redutor e freio eletromecânico já é compatível com a utilização do motor. O custo de aquisição deste conjunto é apresentado em seção posteriores. A massa aproximada do sistema de acionamento é de 100 kg no total para os dois conjuntos utilizados.

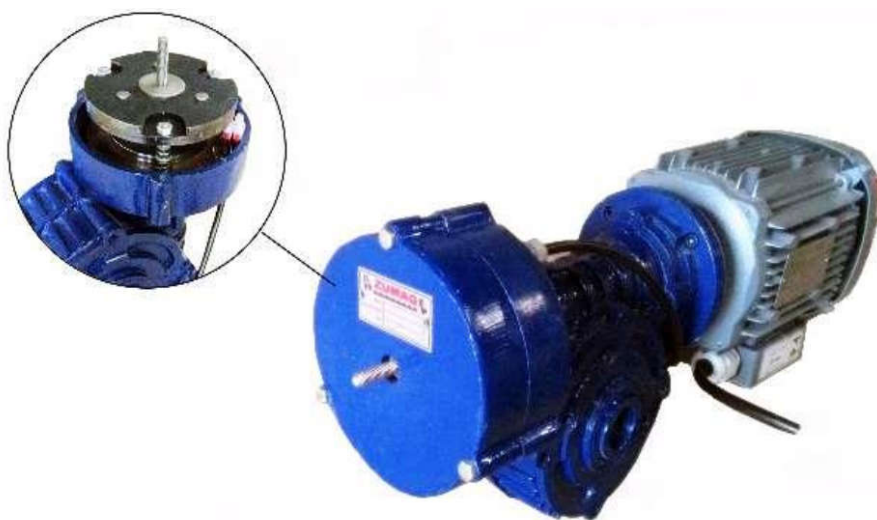


Figura 6-1 - Moto redutor ZUMAQ 1,5 cv [24]

6.1.2 Cabos de aço

A NBR 6494/90 em seu item de número 4, Condições Gerais, determina que os cabos de aço em andaimes suspensos devem ser de alma de fibra (AF) e construção 6x19 com torção regular à direita, galvanizadas e com resistência à tração dos fios entre 1600 MPa e 1800 MPa. Além disso, para andaimes pesados a carga de ruptura mínima deve ser igual a 49,8 kN e diâmetro de 9,5 mm, bastando para este projeto a seleção de um cabo que atenda a estes requisitos.

Os cabos de aço para este projeto são facilmente encontrados no mercado, por serem cabos padrão de utilização em andaimes suspensos motorizados. O valor final de 200 m de cabo de aço, quando comprado o rolo completo, varia de R\$ 1500,00 a R\$ 1800,00 em lojas especializadas [24]. O custo final encontrado para o cabo de aço é apresentado em seção posterior.

6.2 SISTEMA DE SEGURANÇA

A segurança do equipamento é composta pelo freio trava quedas que é conectado na parte superior do guarda corpo lateral, sendo responsável por prover a segurança quanto à possíveis inclinações da plataforma. Além do trava-quedas, o freio eletromecânico que protege contra quedas de energia já foi selecionado em conjunto com o sistema de acionamento.

6.2.1 Trava-quedas

Como princípio de funcionamento, o trava-quedas de andaimes suportam a carga vertical no caso de os motores funcionarem de maneira não sincronizada, fazendo com que um dos lados desça mais do que o outro. O trava-quedas entra em funcionamento a partir do momento que o sistema completo fica a aproximadamente 10 graus em relação à horizontal. A Figura 6-2 mostra um dispositivo trava-quedas utilizado comercialmente, fabricado com mordentes em aço temperado com capacidade de suportar cargas de até 1 tonelada.



Figura 6-2 - Trava-quedas mecânico [25]

Por ser um elemento comercial de suporte e segurança não será realizado o dimensionamento do mesmo. Sistemas de trava-quedas geralmente são fornecidos em conjunto com o sistema de tração comercial, com valor incluso no conjunto.

6.2.2 Afastadores de cabos de aço

Para a correta operação do andaime suspenso é necessário utilizar afastadores para os cabos de aço, de maneira que os cabos de aço que sustentam o andaime permaneçam na vertical. De acordo com a NBR 6494, o afastador deve ser fixado na mureta de alvenaria com um cabo de aço amarrado com três cliques a um ponto fixo. Os cabos de aço devem ser fixados em local apropriado, não sendo permitido o uso de parabolts, chumbadores ou similares. Por ser um acessório, o afastador é vendido separadamente e não entrará na análise de custos do equipamento, de acordo com a distância necessária e a geometria da edificação que receberá o andaime. A mostra um afastador comercial de andaime, que possui um custo aproximado de R\$ 150,00 em lojas online especializadas.



Figura 6-3 - Afastador metálico para andaime suspenso [25]

7 ANÁLISE DE CUSTOS

Após o desenvolvimento do projeto do andaime suspenso motorizado é necessário realizar um estudo da viabilidade econômica para o equipamento. A análise considera os custos relacionados aos materiais e componentes utilizados na fabricação do equipamento, os custos do sistema de acionamento e ancoragem, além dos valores referentes à mão de obra para a execução do projeto.

7.1 CUSTOS DE MODELOS COMERCIAIS

Foram realizadas três cotações para aquisição de andaimes suspensos motorizados com capacidades e geometria parecidas com o modelo projetado. A Tabela 7-1 mostra o primeiro orçamento realizado para um conjunto completo de balancim elétrico de 2 metros modelo ZBE 700. O primeiro valor mostrado de R\$ 12800 refere-se ao equipamento completo, o preço de R\$ 9500 é relativo aos itens que compõe o sistema de acionamento e segurança.

Tabela 7-1 - Orçamento balancim elétrico ZBE 700

ITEM	VALOR(R\$)
Balancim elétrico ZBE 700 – 2 mts	12800
KIT Sistema de acionamento e segurança	9500

O segundo orçamento foi realizado para um balancim elétrico completo modelo G2 do fabricante C3 equipamentos, incluindo 200 m de cabo de aço, com valor total de R\$ 13400,00 como mostrado na Tabela 7-2.

Tabela 7-2 - Orçamento balancim elétrico C3 equipamentos

ITEM	VALOR(R\$)
Balancim elétrico G2 – 2 mts	13400

O terceiro orçamento realizado, mostrado na Tabela 7-3, foi de um andaime suspenso motorizado completo de 2 metros, com o conjunto de tração incluindo os cabos de aço do fabricante Aeroandaimes.

Tabela 7-3 - Orçamento balancim elétrico Aeroandaimes

ITEM	VALOR(R\$)
Balancim Elétrico c/ 02 m	23159,02

7.2 CUSTOS DO ANDAIME PROJETADO

Para a composição dos custos do modelo projetado, foi feita a cotação individual de cada componente/sistema.

7.2.1 Custo dos elementos estruturais

Para o custo dos elementos estruturais, foram considerados os custos médios de aquisição dos insumos, como mostrado:

ITEM	UNID	VALOR(R\$)
Aço ASTM A36	200 kg	1000,00
Parafuso de fixação	8 unid	36,00
Rebite	1 pacote	6,20
Eletrodo Revestido E6013	1 kg	10,00
TOTAL		1052,20

7.2.2 Custo da mão de obra

A partir de orçamentos informais com profissionais de serralheria, chegou-se ao valor R\$ 600,00 para a montagem da estrutura completa, com a fixação das chapas de piso e rodapés por meio de rebites e solda de arco elétrico para a montagem de cada módulo.

7.2.3 Custo dos componentes comerciais

A cotação realizada para os elementos comerciais inclui:

Tabela 7-4 - Custo componentes comerciais

ITEM	UNID	VALOR (R\$)
Cabo de aço	200 m	1500
Conjunto de tração motor-redutor e freio trava quedas	1 unid	4600
Conjunto de caixa de acionamento com polias	1 unid	1400
TOTAL		7500

7.2.4 Custo total do equipamento

O custo total do equipamento é mostrado na Tabela 7-5 mostrada a seguir.

Tabela 7-5 - Custo do equipamento projetado

ITEM	Valor Total (R\$)
Estrutura	1500,00
Mão de obra	600,00
Componentes comerciais	7500,00
Custo total	9600,00

7.3 COMPARAÇÃO COM MODELOS COMERCIAIS

Para efeitos de comparação, a Tabela 7-6 mostra as características dos modelos comerciais utilizados na análise de custos.

Tabela 7-6 - Comparação de características e custos

Característica/modelo	C3 equipamentos	Aeroandaimes	ZUMAQ	Projetado
Estrutura	Expansível	Expansível	Expansível	Não Expansível
Acionamento	Motor 1,5 cv	Motor 4cv	Motor 1,5 cv	Motor 1,5 cv
Capacidade (kg)	440	800	750	940
Custo	R\$ 13.400,00	R\$ 22.430,00	R\$ 15.300,00	R\$ 9.600,00

Para efeito de comparação, considerou-se o tipo de acionamento, assim como as características de capacidade de expansão da estrutura e capacidade total de carga. Pode-se ver que apesar dos modelos comerciais serem expansíveis, possuem custo pelo menos 28% maior, mesmo apresentando uma capacidade de carga menor. Comparando o custo por capacidade de carga, conclui-se que o modelo comercial com menor custo por capacidade de carga apresenta um valor de R\$ 20,4/kg, opondo-se a um valor de R\$ 10,21/kg de carga suportada do modelo projetado, mostrando uma vantagem econômica na aquisição do equipamento projetado.

8 CONCLUSÃO

A partir da revisão acerca dos sistemas que atendem trabalho em altura, especificamente o de fachadas, buscou-se determinar de forma mais ampla quais as soluções para acesso em fachadas. Um estudo dos modelos comerciais foi realizado e a partir deles foram avaliados os requisitos necessários para a máquina.

No intuito de viabilizar a modelagem do sistema foram consideradas algumas hipóteses para o projeto como a isotropia dos materiais utilizados, a distribuição homogênea da massa e a velocidade de operação reduzida.

O dimensionamento considerou as partes da plataforma como modulares, onde os elementos internos são ligados por soldagem. Para a conexão entre os módulos foram utilizadas conexões aparafusadas, devido à portabilidade fornecidas por essas junções. O dimensionamento do sistema foi desenvolvido inicialmente pelo piso, onde foi calculado a flecha admissível e posteriormente aplicou-se as verificações presente na NBR 8400 para o projeto dos guarda corpos e laterais.

A plataforma projetada possui peso total aproximado de 300 kg (considerando estrutura e acionamento) e 640 kg de carga nominal, em relação aos modelos comerciais os valores encontrados são satisfatórios, uma vez que possibilita o andaime suportar o limite de carga estabelecido em norma e consequentemente elevar a produtividade da operação. A análise de custos mostrou que o equipamento projetado leva vantagem econômica em relação aos modelos comerciais comparados, uma vez que possui maior capacidade de carga (840 kg) e menor custo por kg levantado (R\$ 10,21/kg), apesar da desvantagem da característica de capacidade de expansão.

O modelo CAD do equipamento, assim como os desenhos de fabricação, não apresenta os elementos de ligação da estrutura com o sistema de acionamento pois é necessário ter acesso às características geométricas do conjunto moto-redutor, trava-quedas e caixa de tração, que são acessíveis somente com a efetiva aquisição das peças.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] MOSSMANN, Pedro. Estudo comparativo da utilização de plataforma cremalheira e balancim elétrico para execução de revestimento externo de argamassa. Universidade Federal Rio Grande do Sul, Departamento de Engenharia Civil, Porto Alegre, 2015. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/127704>. Acesso em 10 abr. 2019.

[2] WATERS, Colin. Reaching for the sky – A potted history of scaffolding. Dez 2016. Disponível em : <https://scaffmag.com/2016/12/reaching-for-the-sky-a-potted-history-of-scaffolding>. Acesso em: 15 abr 2019.

[3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6494: Segurança nos andaimes. Rio de Janeiro: ABNT, 2000. 5p.

[4] Suspended Access Equipment. Infrastructure Health & Safety Association (IHSA). Disponível em: https://www.ihsa.ca/rtf/health_safety_manual/pdfs/equipment/SAE.pdf. Acesso em: 24 abr. 2019.

[5] Nakatami, Lais Akemi. Aplicação da norma de segurança NR-18 com relação aos andaimes em obras da construção civil. 2013. Monografia (Especialização em Engenharia de segurança do trabalho) – Departamento acadêmico de construção civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba-Paraná. 2013. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br:8080/jspui/bitstream/1/1350/1/CT_CEEEST_XXIV_2013_21.pdf. Acesso em: 30 abr 2019

[6] Andaime simplesmente apoiado fixo. Cia do Equipamento. Curitiba-PR. Disponível em: <http://ciadoequipamento.com.br/>. Acesso em: 15 abr 2019.

[7] Andaime tubular móvel. Degraus Alugueis de Equipamentos. Disponível em: <https://www.degraus.com.br/loja/andaimes/andaime-nr-18/>. Acesso em: 19 abr 2019.

[8] COSTA, Aledson Damasceno. Dossiê técnico: As condições da falta de segurança dos andaimes como fonte potencial de risco de quedas na construção civil. Rede de Tecnologia da Bahia – RETEC/BA. 25 de Maio de 2007. Disponível em: <http://respostatecnica.org.br/dossie-tecnico/downloadsDT/ODA=>. Acesso em: 15 maio 2019.

[9] Andaime Fachadeiro. Orguel, Belo Horizonte – MG. Disponível em: <http://www.grupoorguel.com.br/equipamentos/andaime/andaime-fachadeiro/>. Acesso em: 25 abr. 2019.

[10] FUNDACENTRO (Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho). São Paulo, 2003. Recomendação técnica de procedimentos: Medidas de proteção contra quedas de altura.

[11] Plataforma suspensa manual. Palácio locação de máquinas. Jaboatão dos guararapes, Pernambuco. Disponível em: <https://www.plmaquinas.com.br/equipamentos/elevacao-acesso/plat-suspensa-eletrica-manual>. Acesso em 22 de abr. 2019.

[12] Cadeira suspensa. Equipamentos Gulin Ltda. São Paulo- SP. Disponível em: <http://www.gulin.com.br/produtos-detalle.asp?IDMenu=4&IDProd=72>. Acesso em 22 abr. 2019.

[13] Andaime suspenso elétrico ZBE700. ZUMAQ Equipamentos LTDA. Chapecó- SC. Disponível em: <http://www.zumaq.com/resources/Manual%20Balancim%20El%C3%A9trico.pdf>. Acesso em: 10 de maio de 2019.

[14] Manual de instruções para operadores de andaime suspenso motorizado BARAM 700. Baram Equipamentos. Esteio, RS. 2013.

[15] Manual Balancim Elétrico Aeroandaimes. Aeroandaimes locação e vendas: Rio de Janeiro, RJ. Disponível em: <https://aeroandaimes.com.br/balancim-eletrico.php>. Acesso em: 04 de maio 2019.

[16] Catálogo comercial. C3 Equipamentos Caxias do Sul, RS. Disponível em: <https://c3equipamentos.com.br/>. Acesso em: 10 de maio 2019.

[17] BRASIL, Ministério do Trabalho e Emprego. NR 18: Condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção. Brasília, DF. Disponível em: <http://www.trabalho.gov.br/seguranca-e-saude-no-trabalho/normatizacao/normas-regulamentadoras/norma-regulamentadora-n-18-condicoes-e-meio-ambiente-de-trabalho-na-industria-da-construcao> Acesso em: 10 de abril de 2019.

[18] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8400: Cálculo de equipamento para levantamento e movimentação de cargas. Rio de Janeiro: ABNT, 1984. 108p.

[19] Eurocode 3(2005): Design of steel structures – Part 1-1: General Rules and rules for buildings. Bruxelas: European Committee for standardisation.

[20] ROARK, Raymond J. Formulas for stress and strain. 4 ed. McGraw-Hill book company.

[21] Catálogo de produtos. Ciser Parafusos e Porcas. Disponível em: <http://www.ciser.com.br/download/catalogo-de-produtos>. Acesso em: 10 de jun. 2019.

[22] NORTON, R. L. Projeto de máquinas: uma abordagem integrada. 4. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

[23] Moto redutor CS60. Disponível em: <https://www.mfrural.com.br/detalhe/moto-redutor-com-freio-eletromecanico-217552.aspx>. Acesso em 10/07/2019

[24] Cotação de valor para cabo de aço em loja especializada. Disponível em <https://www.amegaloja.com.br/cabo-de-aco-galvanizado-3-8-200-metros>. Acesso em 10/07/2019.

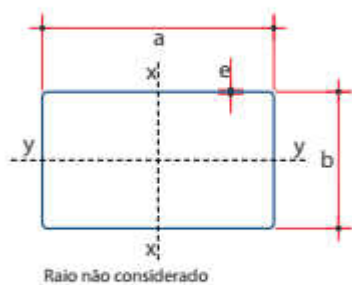
[25] Manual Balancim Elétrico –. Andaime Suspenso Elétrico ZBE 700 – ZUMAQ, 2015.

[26] Afastador metálico para andaime suspenso. Disponível em <<http://www.iw8.com.br/produto/afastador-de-cabo-de-aco.html>>. Acesso em 10/07/2019

ANEXOS

		Pág.
Anexo I	Catálogo técnico - Gravia	74
Anexo II	Eletrodo Revestido E6013 - Würth	76

Tubo Industrial Retangular



Dimensões Nominais	mm	Área (cm²)	Peso (kg/m)	Peso (kg/6m)	Direção - X				Direção - Y			
					J_x (cm⁴)	W_x (cm³)	i_x (cm)	X_{cg} (cm)	J_y (cm⁴)	W_y (cm³)	i_y (cm)	Y_{cg} (cm)
30 x 20 *	0,75	0,73	0,57	3,43	0,93	0,62	1,13	1,00	0,50	0,50	0,83	1,50
	0,90	0,87	0,68	4,09	1,10	0,73	1,13	1,00	0,58	0,58	0,82	1,50
	1,06	1,02	0,80	4,78	1,27	0,85	1,12	1,00	0,67	0,67	0,81	1,50
	1,20	1,14	0,90	5,38	1,42	0,94	1,11	1,00	0,75	0,75	0,81	1,50
	1,50	1,41	1,11	6,64	1,71	1,14	1,10	1,00	0,89	0,89	0,80	1,50
35 x 15 *	0,75	0,73	0,57	3,43	1,13	0,65	1,25	0,75	0,30	0,40	0,64	1,75
	0,90	0,87	0,68	4,09	1,33	0,76	1,24	0,75	0,35	0,46	0,63	1,75
	1,06	1,02	0,80	4,78	1,54	0,88	1,23	0,75	0,40	0,53	0,63	1,75
	1,20	1,14	0,90	5,38	1,72	0,98	1,23	0,75	0,44	0,59	0,62	1,75
	1,50	1,41	1,11	6,64	2,08	1,19	1,22	0,75	0,52	0,70	0,61	1,75
35 x 25 *	0,75	0,88	0,69	4,13	1,57	0,90	1,34	1,25	0,93	0,75	1,03	1,75
	0,90	1,05	0,82	4,93	1,86	1,06	1,33	1,25	1,10	0,88	1,03	1,75
	1,06	1,23	0,96	5,78	2,15	1,23	1,33	1,25	1,28	1,02	1,02	1,75
	1,20	1,38	1,09	6,51	2,41	1,38	1,32	1,25	1,42	1,14	1,01	1,75
	1,50	1,71	1,34	8,05	2,92	1,67	1,31	1,25	1,72	1,37	1,00	1,75
40 x 20 *	0,75	0,88	0,69	4,13	1,87	0,93	1,46	1,00	0,64	0,64	0,85	2,00
	0,90	1,05	0,82	4,93	2,21	1,11	1,45	1,00	0,75	0,75	0,84	2,00
	1,06	1,23	0,96	5,78	2,57	1,28	1,45	1,00	0,86	0,86	0,84	2,00
	1,20	1,38	1,09	6,51	2,87	1,44	1,44	1,00	0,96	0,96	0,83	2,00
	1,50	1,71	1,34	8,05	3,49	1,75	1,43	1,00	1,15	1,15	0,82	2,00
40 x 30 *	0,90	1,23	0,96	5,78	2,90	1,45	1,54	1,50	1,86	1,24	1,23	2,00
	1,06	1,44	1,13	6,78	3,37	1,69	1,53	1,50	2,16	1,44	1,22	2,00
	1,20	1,62	1,27	7,64	3,77	1,89	1,53	1,50	2,41	1,61	1,22	2,00
	1,50	2,01	1,58	9,47	4,60	2,30	1,51	1,50	2,93	1,95	1,21	2,00

* Sob encomenda

17

Dimensões Nominais		Área	Peso	Peso	Direção - X				Direção - Y				
mm	mm	(cm²)	(kg/m)	(kg/6m)	J _x	W _x	i _x	X _{cg}	J _y	W _y	i _y	Y _{cg}	
					(cm⁴)	(cm³)	(cm)	(cm)	(cm⁴)	(cm³)	(cm)	(cm)	
50 x 20	*	0,90	1,23	0,96	5,78	3,85	1,54	1,77	1,00	0,91	0,91	0,86	2,50
	*	1,06	1,44	1,13	6,78	4,48	1,79	1,76	1,00	1,05	1,05	0,86	2,50
	*	1,20	1,62	1,27	7,64	5,02	2,01	1,76	1,00	1,17	1,17	0,85	2,50
	*	1,50	2,01	1,58	9,47	6,13	2,45	1,75	1,00	1,41	1,41	0,84	2,50
50 x 30	*	0,90	1,41	1,10	6,63	4,93	1,97	1,87	1,50	2,24	1,49	1,26	2,50
	*	1,06	1,65	1,30	7,78	5,75	2,30	1,87	1,50	2,60	1,74	1,26	2,50
	*	1,20	1,86	1,46	8,77	6,44	2,58	1,86	1,50	2,91	1,94	1,25	2,50
	*	1,50	2,31	1,81	10,88	7,89	3,16	1,85	1,50	3,54	2,36	1,24	2,50
	*	2,00	3,04	2,39	14,32	10,16	4,06	1,83	1,50	4,51	3,01	1,22	2,50
70 x 30	*	1,20	2,34	1,84	11,03	14,70	4,20	2,51	1,50	3,91	2,60	1,29	3,50
	*	1,50	2,91	2,28	13,71	18,08	5,17	2,49	1,50	4,76	3,17	1,28	3,50
	*	2,00	3,84	3,01	18,09	23,46	6,70	2,47	1,50	6,08	4,06	1,26	3,50
60 x 40	*	1,20	2,34	1,84	11,03	12,12	4,04	2,27	2,00	6,48	3,24	1,66	3,00
	*	1,50	2,91	2,28	13,71	14,90	4,97	2,26	2,00	7,94	3,97	1,65	3,00
	*	2,00	3,84	3,01	18,09	19,32	6,44	2,24	2,00	10,23	5,11	1,63	3,00
90 x 30	*	1,20	2,82	2,22	13,29	27,64	6,14	3,13	1,50	4,90	3,27	1,32	4,50
	*	1,50	3,51	2,76	16,53	34,09	7,57	3,12	1,50	5,98	3,99	1,31	4,50
	*	2,00	4,64	3,64	21,85	44,44	9,88	3,09	1,50	7,65	5,10	1,28	4,50
80 x 40	*	1,20	2,82	2,22	13,29	24,25	6,06	2,93	2,00	8,29	4,15	1,71	4,00
	*	1,50	3,51	2,76	16,53	29,90	7,48	2,92	2,00	10,16	5,08	1,70	4,00
	*	2,00	4,64	3,64	21,85	38,97	9,74	2,90	2,00	13,12	6,56	1,68	4,00
75 x 50	*	1,20	2,94	2,31	13,86	23,99	6,40	2,86	2,50	12,88	5,15	2,09	3,75
	*	1,50	3,66	2,87	17,24	29,59	7,89	2,84	2,50	15,83	6,33	2,08	3,75
	*	2,00	4,84	3,80	22,80	38,58	10,29	2,82	2,50	20,53	8,21	2,06	3,75
100 x 50	*	1,50	4,41	3,46	20,77	59,20	11,84	3,66	2,50	20,24	8,10	2,14	5,00
	*	2,00	5,84	4,58	27,51	77,52	15,50	3,64	2,50	26,30	10,52	2,12	5,00
	*	2,25	6,55	5,14	30,84	86,42	17,28	3,63	2,50	29,20	11,68	2,11	5,00
	*	2,65	7,67	6,02	36,12	100,31	20,06	3,62	2,50	33,68	13,47	2,10	5,00
127 x 50	*	1,50	5,22	4,10	24,59	106,73	16,81	4,52	2,50	25,01	10,00	2,19	6,35
	*	2,00	6,92	5,43	32,59	140,16	22,07	4,50	2,50	32,52	13,01	2,17	6,35
	*	2,25	7,76	6,09	36,56	156,48	24,64	4,49	2,50	36,13	14,45	2,16	6,35
	*	2,65	9,10	7,14	42,86	182,07	28,67	4,47	2,50	41,71	16,68	2,14	6,35
140 x 50	*	1,50	5,61	4,40	26,42	136,22	19,46	4,93	2,50	27,30	10,92	2,21	7,00
	*	2,00	7,44	5,84	35,04	179,08	25,58	4,91	2,50	35,52	14,21	2,18	7,00
	*	2,25	8,35	6,55	39,32	200,04	28,58	4,90	2,50	39,47	15,79	2,17	7,00
	*	2,65	9,79	7,68	46,11	232,94	33,28	4,88	2,50	45,58	18,23	2,16	7,00
150 x 50	*	1,50	5,91	4,64	27,84	162,11	21,61	5,24	2,50	29,07	11,63	2,22	7,50
	*	2,00	7,84	6,15	36,93	213,26	28,44	5,22	2,50	37,82	15,13	2,20	7,50
	*	2,25	8,80	6,91	41,44	238,31	31,78	5,20	2,50	42,04	16,81	2,19	7,50
	*	2,65	10,32	8,10	48,60	277,67	37,02	5,19	2,50	48,55	19,42	2,17	7,50

18 * Sob encomenda

ANEXO 2: Eletrodos revestidos E6013 - Würth

Para o projeto foram utilizados materiais para solda do fabricante Würth e as informações necessárias para o projeto foram extraídas do catálogo a seguir.



ELETRODO E6013



PRINCIPAIS VANTAGENS

- Excelente soldabilidade.
- Fácil remoção da escória.
- Solda em todas posições.

PRODUTOS ASSOCIADOS

- Máscara de solda.
- Flap disc.
- Disco de corte.
- Anti-respingo spray.

Descrição do produto

O eletrodo de revestimento rutílico, normalmente designado por E6013, é um produto que garante uma grande suavidade da operação, excelente soldabilidade e uma boa morfologia de cordão para soldas em todas as posições. A escória é de fácil remoção e o eletrodo proporciona cordões de solda lisos e regulares.

Normas

AWS / ASME SFA-5.1	E6013
EN 499	-
DIN 1913	-

Aplicações

O eletrodo E6013 é um eletrodo de uso geral utilizado para solda de aço carbono de média dureza e particularmente adequado para a solda de chapas de aço de diversas espessuras. Estes eletrodos são apropriados para a solda de aço estrutural maciço, produções de tanques e caldeiras, aços diversos, carrocerias de automóveis, móveis de aço, chapas de metal, chapa fina e pequenas operações. Apresentam uma resistência à tração de até 500 N/mm².

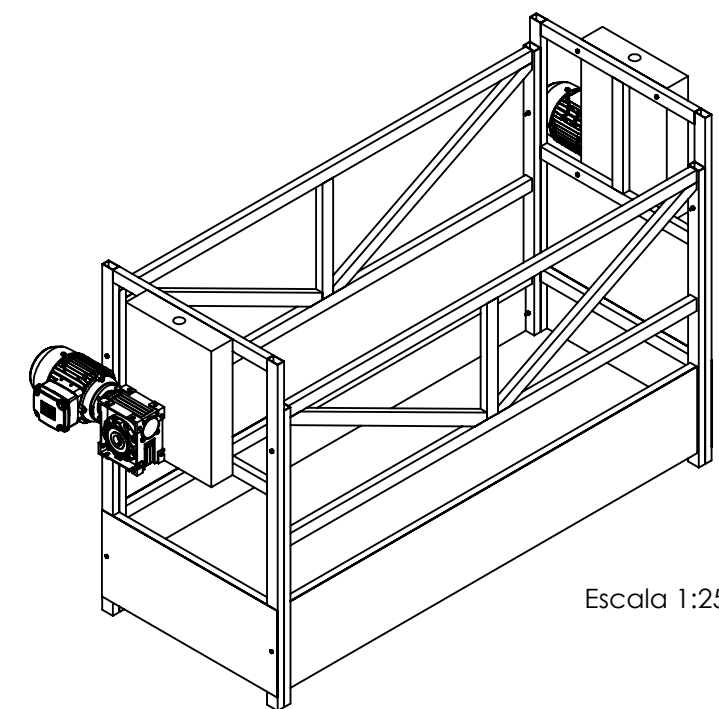
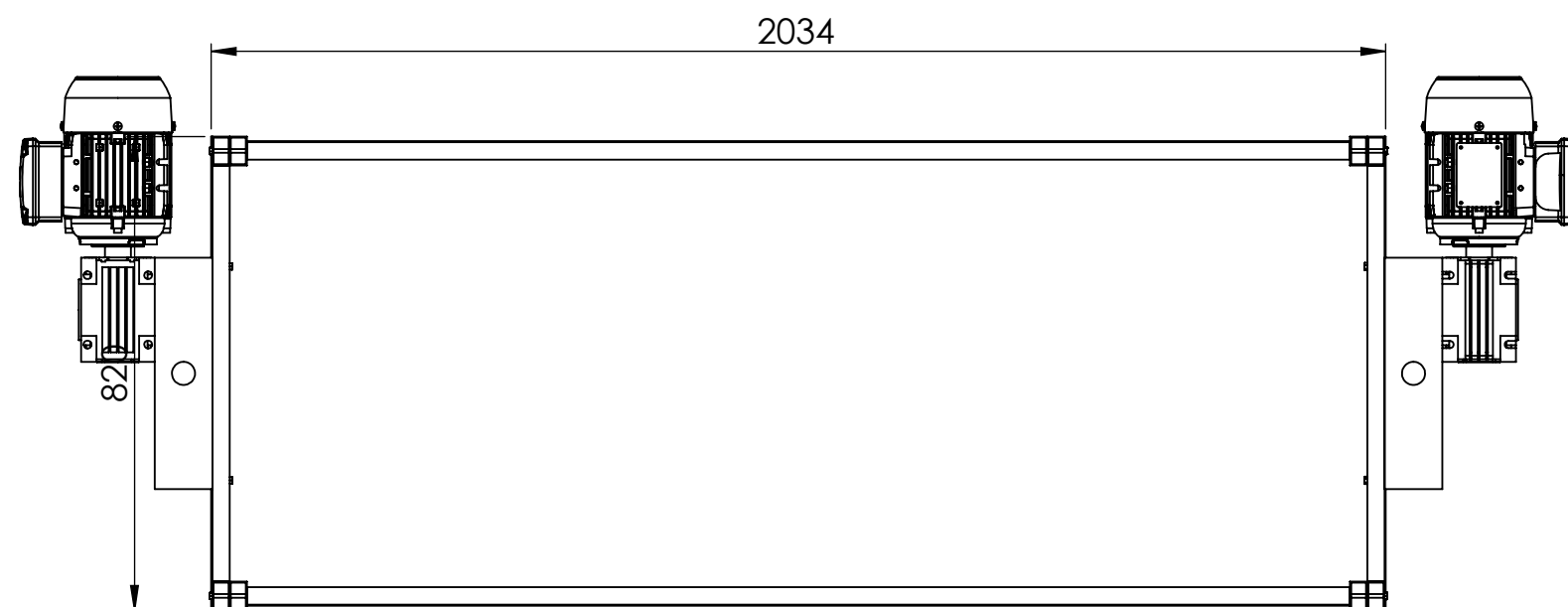
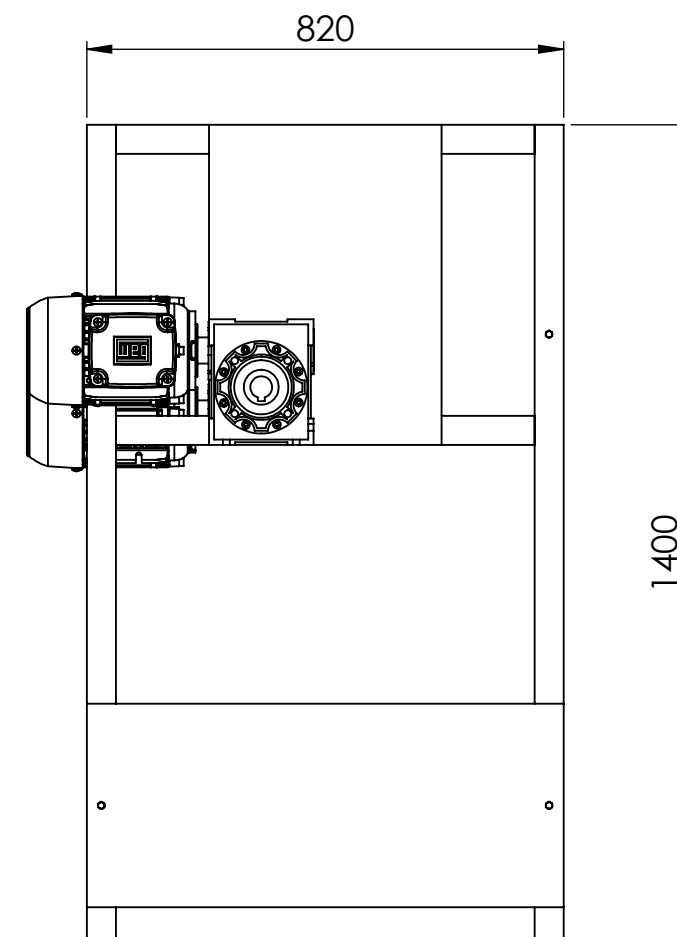
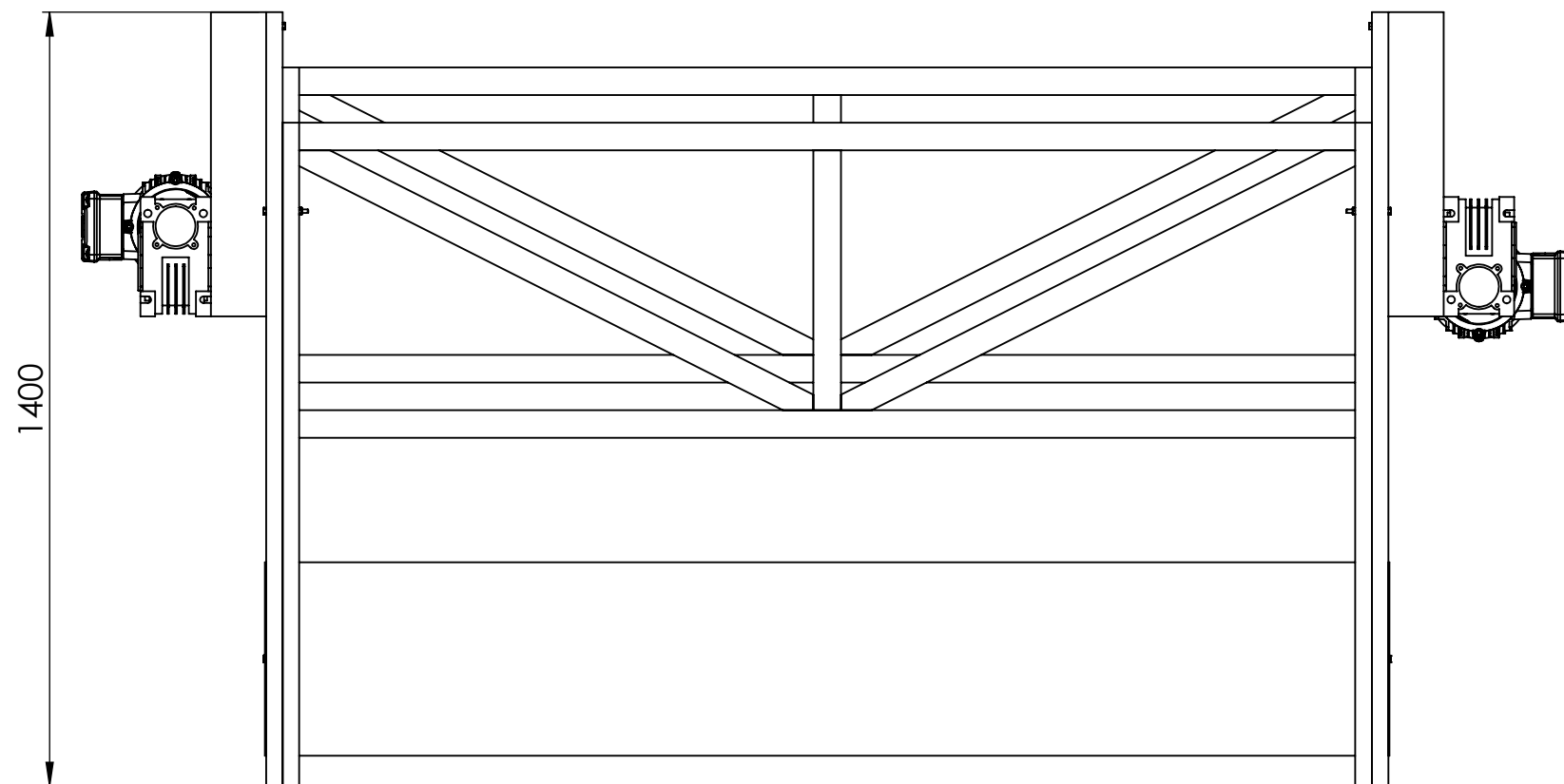
Aços estruturais:	St 33, St 37, St 37-4, St44, St44-4, St 52, St 52-4
Aços finos	St E 255 - St E 420
Aços temperados	St 35.8, St45.8
Chapas de navios	A-, D-
Aços forjados	GG-38, GG-45, GG-52

Propriedades mecânicas do metal soldado (valores de referência)

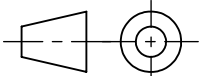
Limite elástico (N/mm ²)	375
Resistência à tração (N/mm ²)	490
Alongamento à ruptura (L=5d)[%]	25
Resistência ao impacto (ISO-V) [joule]	60 a 0°C; 40 a -20°C

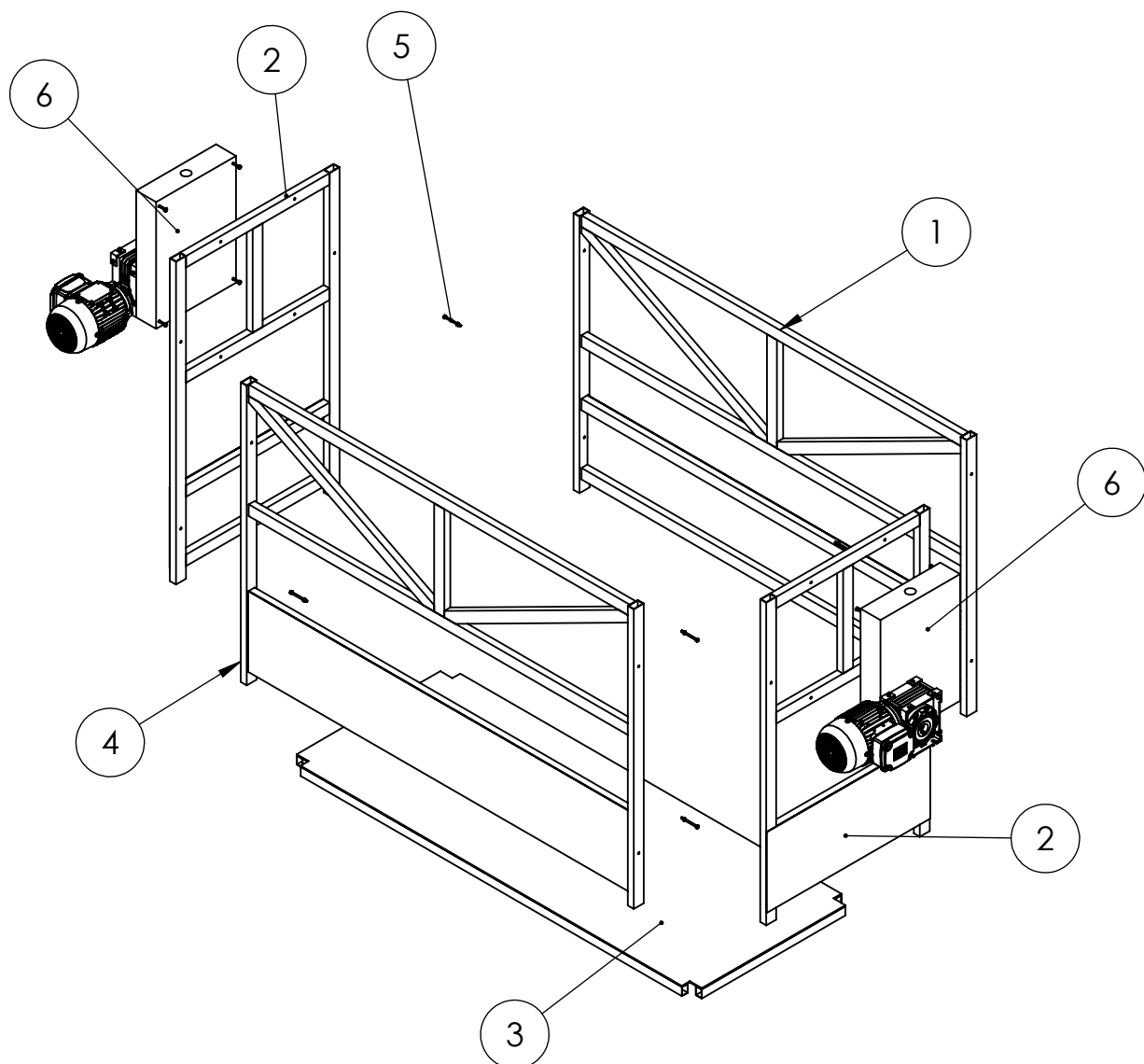
Desenhos de fabricação

Andaime Suspenso Motorizado

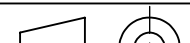


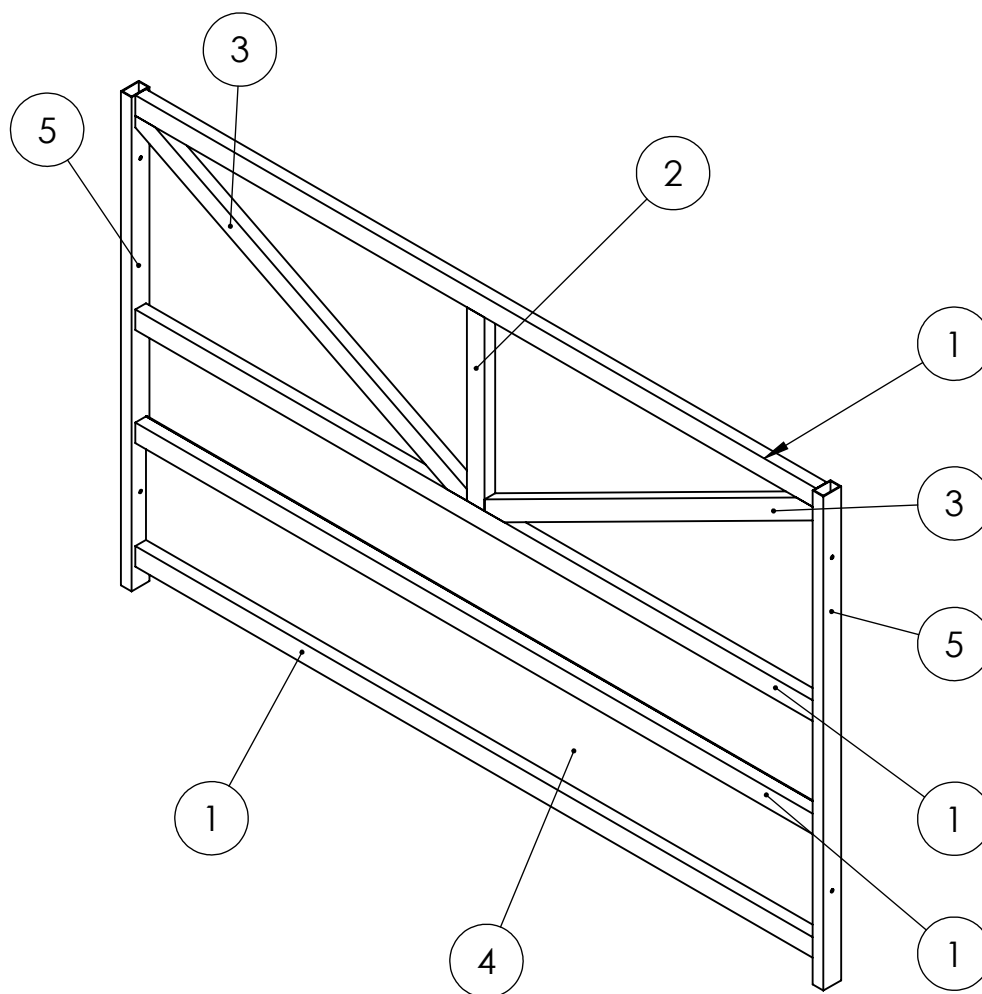
Escala 1:25

Universidade de Brasília	FT - Faculdade de Tecnologia	Material:	
	Projeto de Graduação	Código:	Andaime Suspenso
Projetista	Luiz Cesar Zacarias Filho		Data
Desenhista	Luiz Cesar Zacarias Filho		26/06/2019
Unidade: mm	Andaime Suspenso - Conjunto		Escala: 1:13
			Folha: 1 de 24

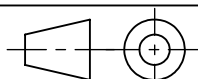


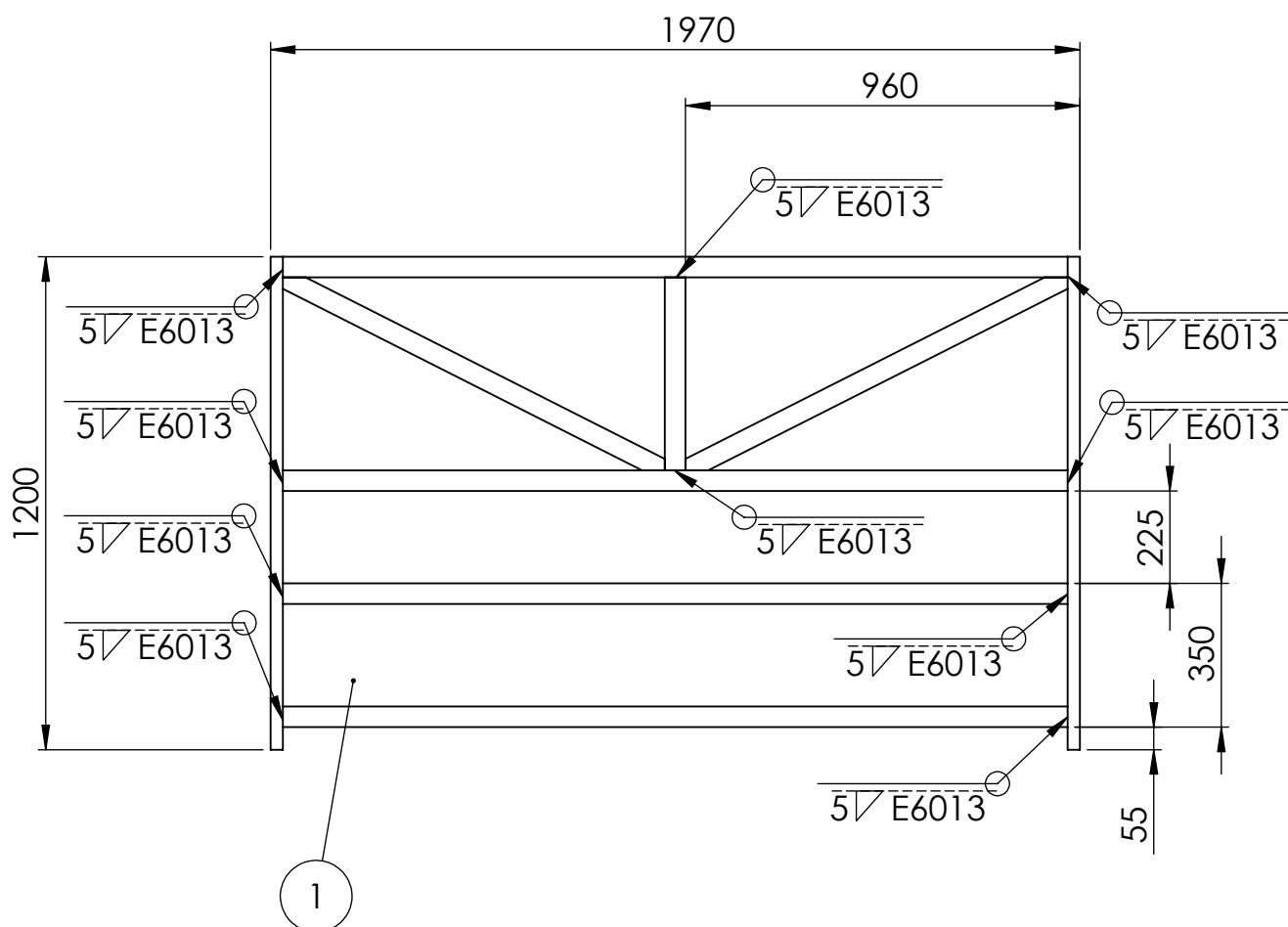
Item	Código	Quantidade	Página
1	GCF	1	3
2	ML	2	5
3	MP	1	7
4	GCC	1	9
5	1/4"x3"	8	-
6	Acionamento	2	-

Universidade de Brasília	FT - Faculdade de Tecnologia	Material:	
	Projeto de Graduação	Código:	
Projetista	Luiz Cezar Zacarias Filho		Data 26/06/2019
Desenhista	Luiz Cezar Zacarias Filho		
Unidade: mm	Vista explodida - Andaime completo		Escala: 1:25
			Folha: 2 de 24

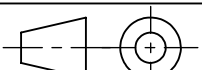


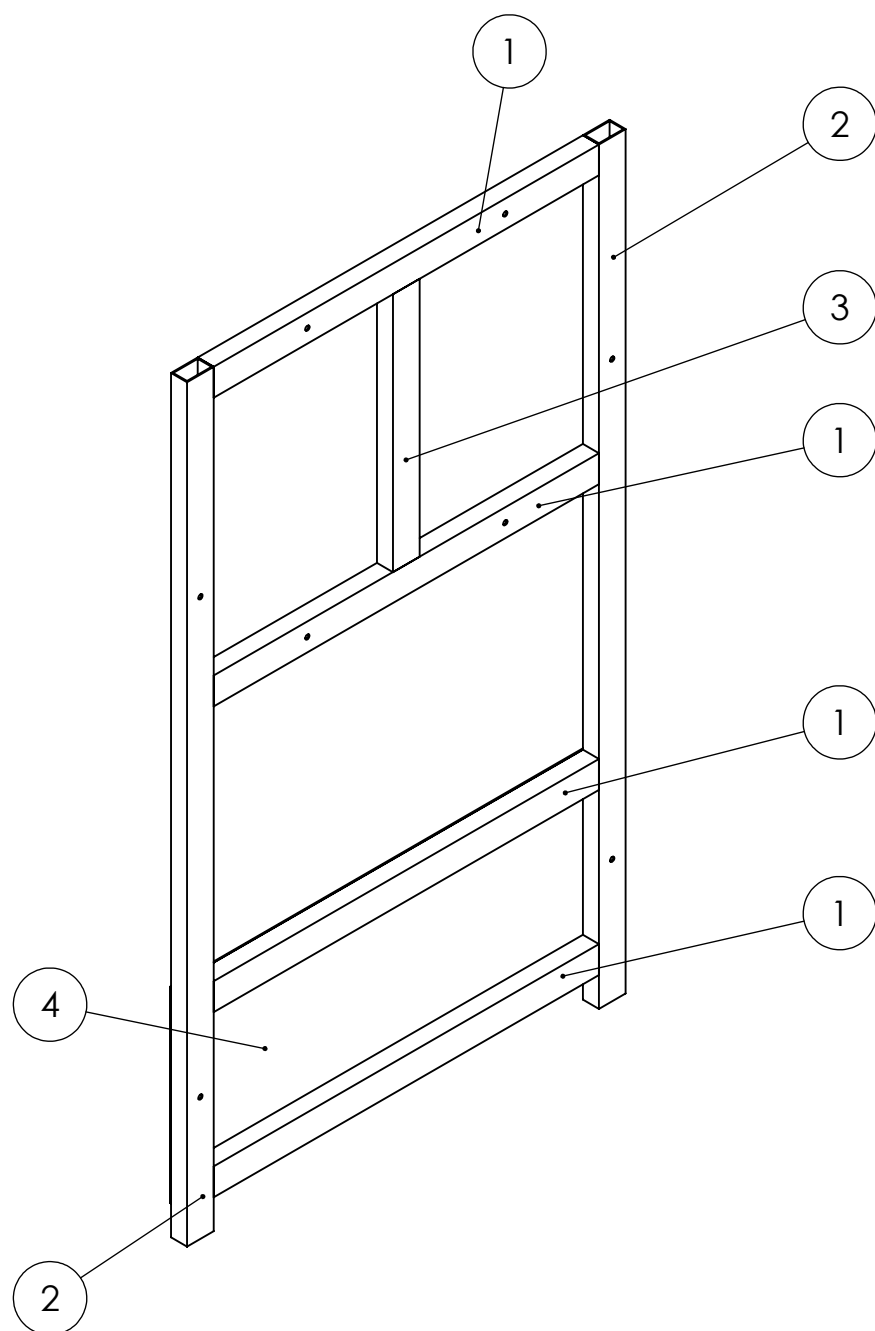
Item	Código	Quantidade	Página
1	GCH1	4	15
2	GCV2	1	17
3	DGCC	2	13
4	RG	1	23
5	GCCV1	2	14

Universidade de Brasília	FT - Faculdade de Tecnologia	Material:	
	Projeto de Graduação	Código:	GCF
Projetista	Luiz Cezar Zacarias Filho		Data 26/06/2019
Desenhista	Luiz Cezar Zacarias Filho		
Unidade: mm	Montagem guarda corpo frontal		Escala: 1:15
			Folha: 3 de 24

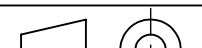


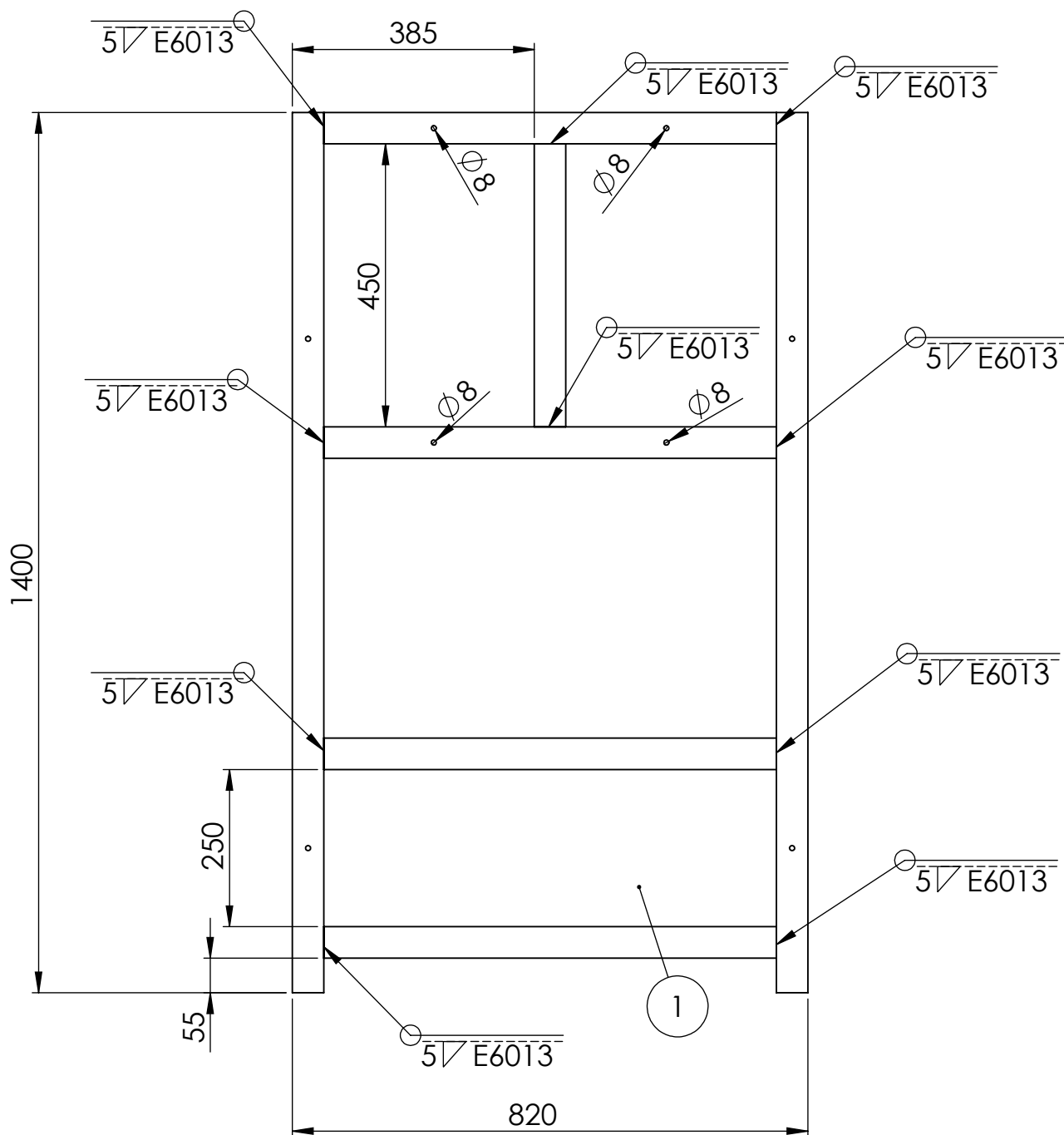
Observações:
1 - Fixação do rodapé deve ser feita por rebites

Universidade de Brasília	FT - Faculdade de Tecnologia	Material:	
	Projeto de Graduação	Código:	GCF
Projetista	Luiz Cezar Zacarias Filho		Data
Desenhista	Luiz Cezar Zacarias Filho		26/06/2019
Unidade: mm	Montagem guarda corpo frontal		Escala: 1:18
			Folha: 4 de 24

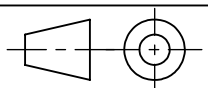


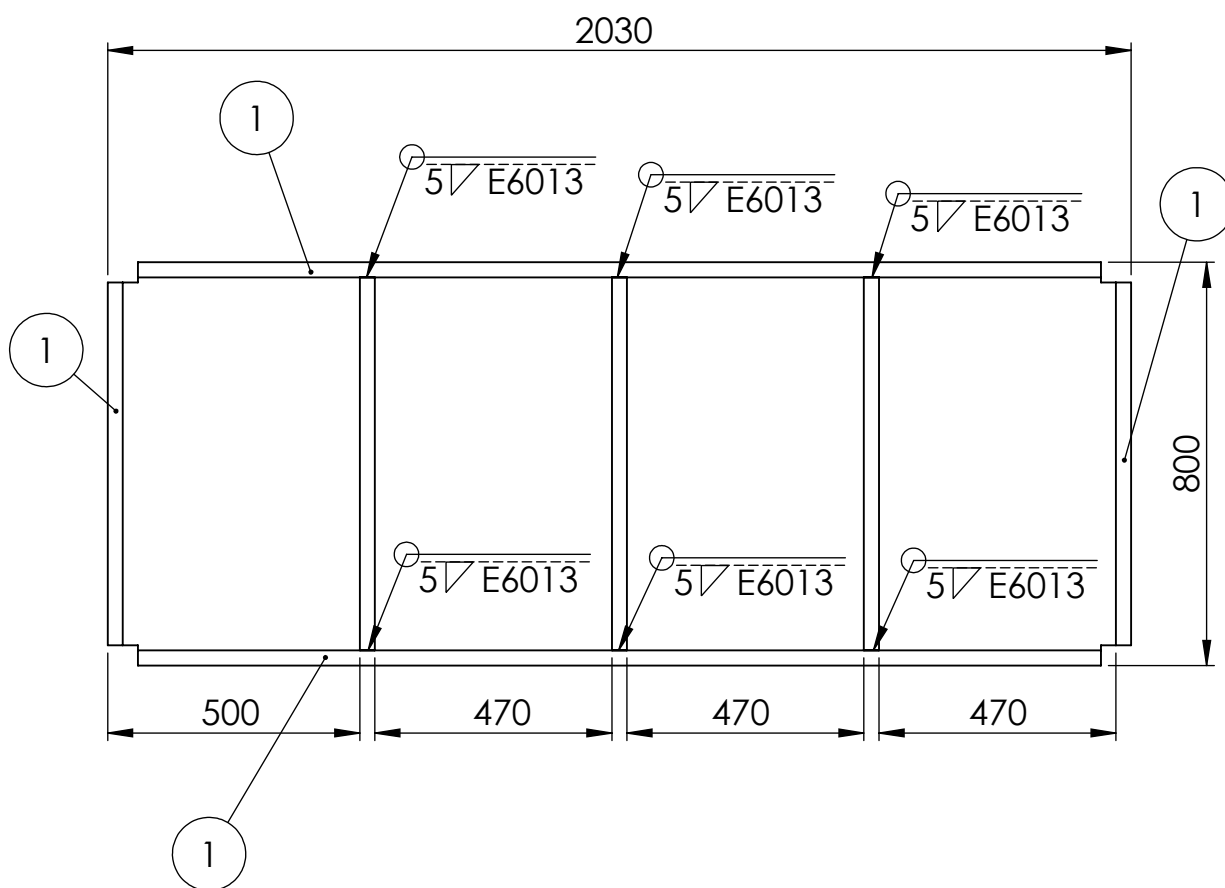
Item	Código	Quantidade	Página
1	L1	1	18
2	L1V	2	19
3	L1V2	1	20
4	RL	1	24

Universidade de Brasília	FT - Faculdade de Tecnologia	Material:	
	Projeto de Graduação	Código:	ML
Projetista	Luiz Cezar Zacarias Filho		Data 26/06/2019
Desenhista	Luiz Cezar Zacarias Filho		
Unidade: mm	Guarda corpo lateral		Escala: 1:10
			Folha: 6 de 24



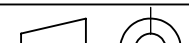
Observações:
1 - Chapa de rodapé
deve ser fixada por meio
de rebites

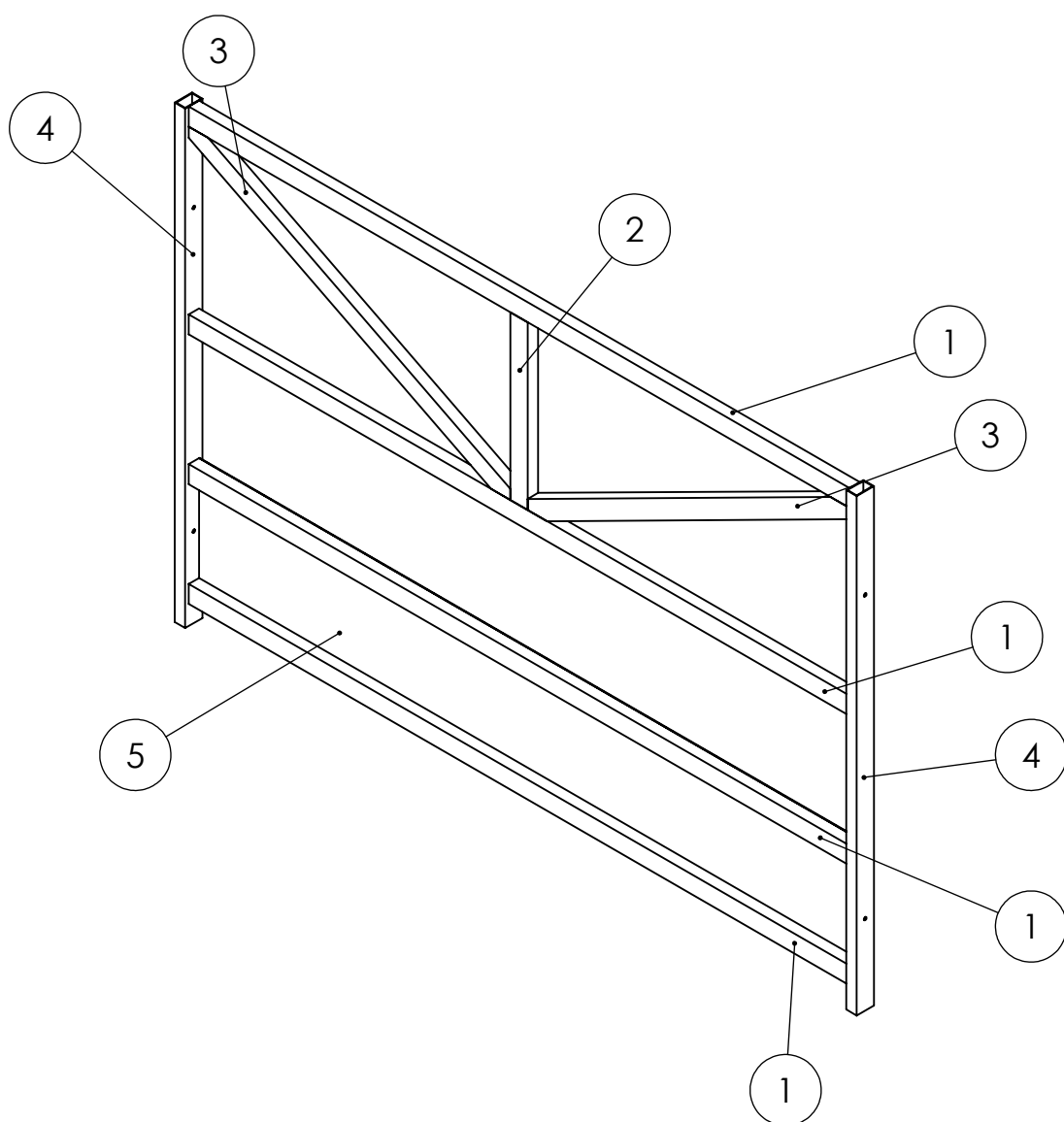
Universidade de Brasília	FT - Faculdade de Tecnologia	Material:	
	Projeto de Graduação	Código:	LM
Projetista	Luiz Cezar Zacarias Filho		Data 26/06/2019
Desenhista	Luiz Cezar Zacarias Filho		
Unidade: mm	Guarda corpo lateral		Escala: 1:10
			Folha: 5 de 24



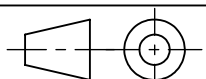
Observações:

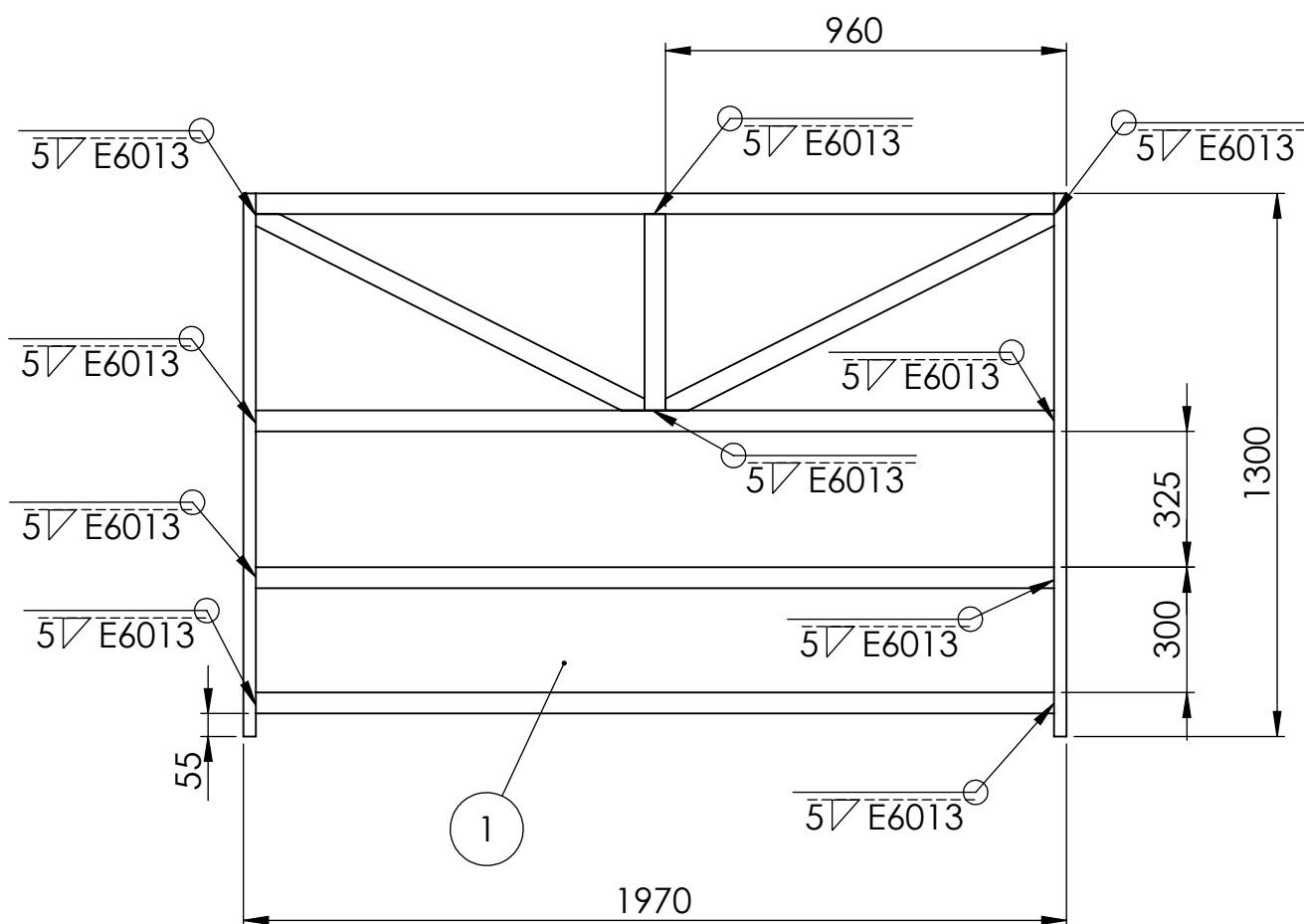
1 - Fixação da chapa xadrez nas barras deve ser feita por rebites

Universidade de Brasília	FT - Faculdade de Tecnologia	Material: ASTM A36	
	Projeto de Graduação	Código: MP	
Projetista	Luiz Cezar Zacarias Filho		Data 26/06/2019
Desenhista	Luiz Cezar Zacarias Filho		
Unidade: mm	Montagem do piso		Escala: 1:15
			Folha: 8 de 24

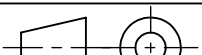


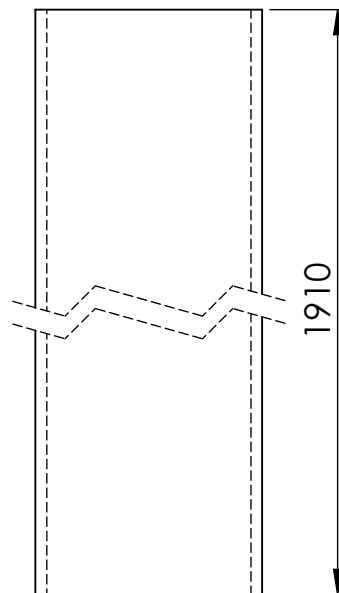
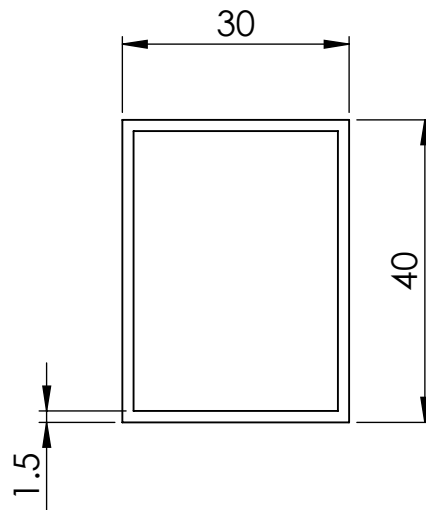
Item	Código	Quantidade	Página
1	GCH1	4	15
2	GCV2	1	17
3	DGCC	2	13
4	GCV1	2	16
5	RG	1	23

Universidade de Brasília	FT - Faculdade de Tecnologia	Material:	
	Projeto de Graduação	Código:	GCC
Projetista	Luiz Cezar Zacarias Filho		Data 26/06/2019
Desenhista	Luiz Cezar Zacarias Filho		
Unidade: mm	Montagem guarda corpo costas		Escala: 1:15
			Folha: 9 de 24



Observações:
1 - Fixação do rodapé deve ser feita por rebites

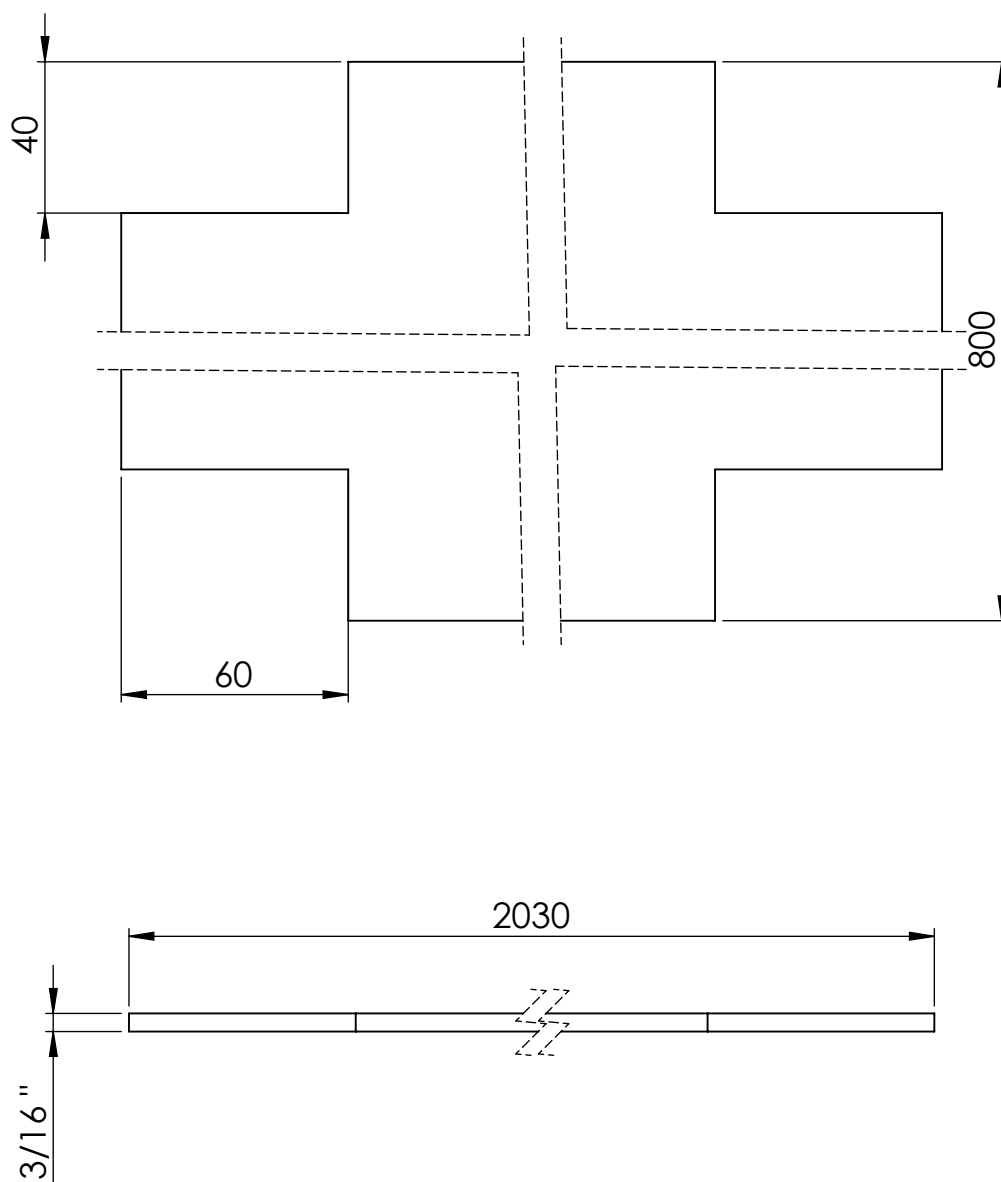
Universidade de Brasília	FT - Faculdade de Tecnologia	Material:	
	Projeto de Graduação	Código:	GCC
Projetista	Luiz Cezar Zacarias Filho		Data
Desenhista	Luiz Cezar Zacarias Filho		26/06/2019
Unidade: mm	Montagem guarda corpo costas		Escala: 1:18
			Folha: 10 de 24



OBS.: Tolerâncias não especificadas: 1 mm


Perfil comercial - Gravia

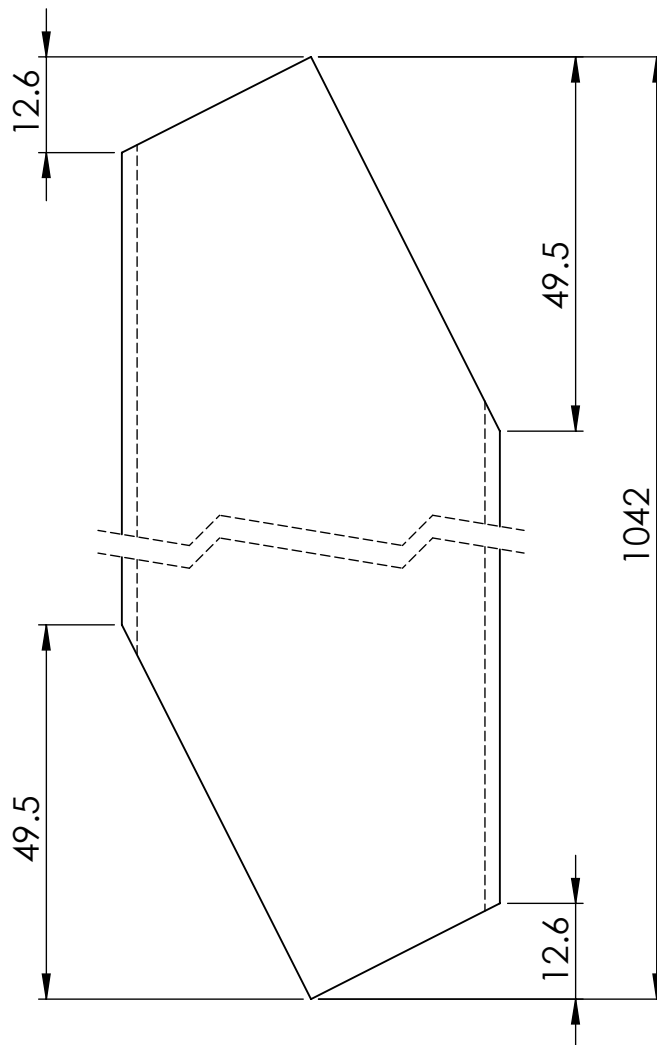
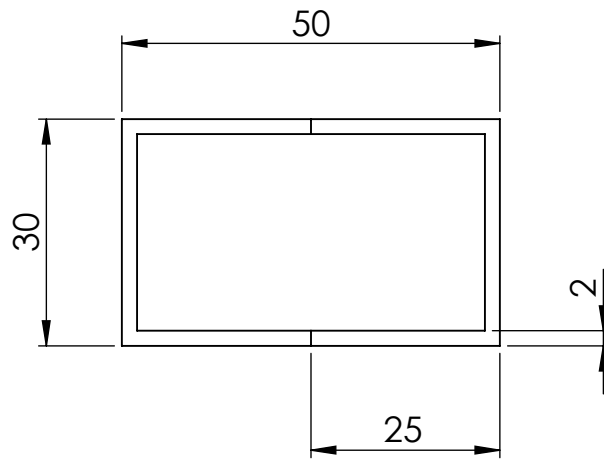
Universidade de Brasília	FT - Faculdade de Tecnologia	Material: ASTM A36	
	Projeto de Graduação	Código: BMP	
Projetista	Luiz Cezar Zacarias Filho		Data 26/06/2019
Desenhista	Luiz Cezar Zacarias Filho		
Unidade: mm	Barra de Apoio Piso		Escala: 1:1
			Folha: 12 de 24



OBS.: Tolerâncias não especificadas: 1 mm

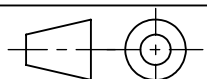
Chapa Xadrez comercial

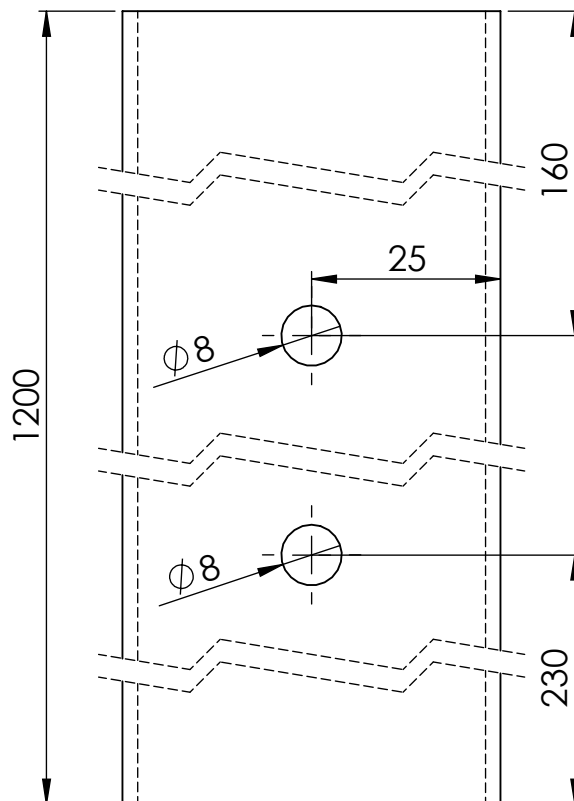
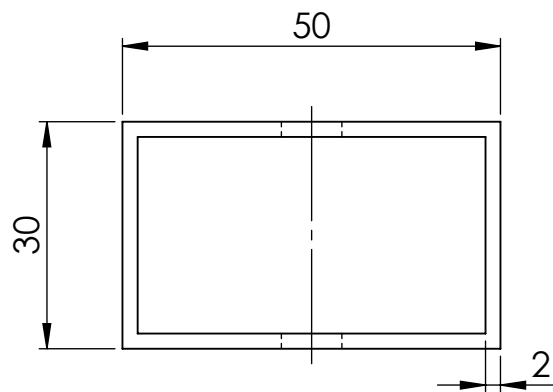
Universidade de Brasília	FT - Faculdade de Tecnologia	Material: ASTM A36	
	Projeto de Graduação	Código: CX	
Projetista	Luiz Cezar Zacarias Filho		Data 26/06/2019
Desenhista	Luiz Cezar Zacarias Filho		
Unidade: mm	Chapa xadrez - Piso		Escala: 1:2
			Folha: 13 de 24



OBS.: Tolerâncias não especificadas: 1 mm

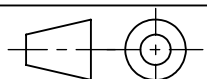
Perfil comercial - Gravia

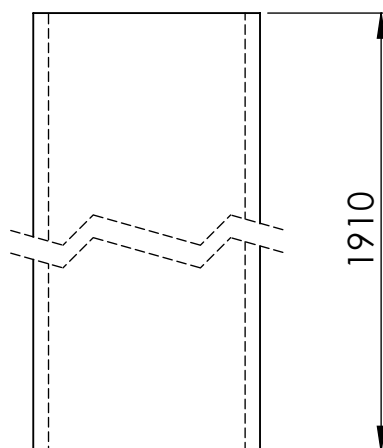
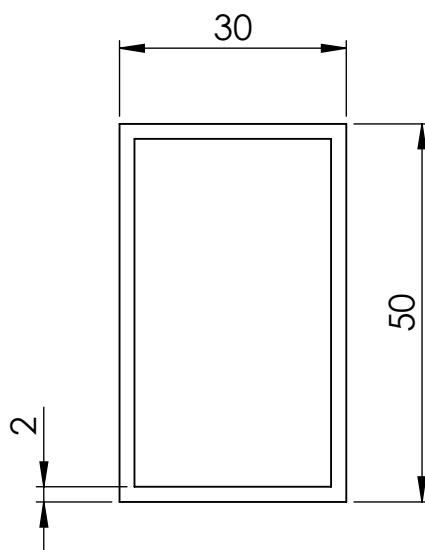
Universidade de Brasília	FT - Faculdade de Tecnologia	Material: ASTM A36	
	Projeto de Graduação	Código: DGCC	
Projetista	Luiz Cezar Zacarias Filho		Data 26/06/2019
Desenhista	Luiz Cezar Zacarias Filho		
Unidade: mm	Barra diagonal - guarda corpo		Escala: 1:1
			Folha: 13 de 24



OBS.: Tolerâncias não especificadas: 1 mm

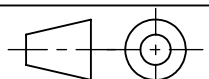
Perfil comercial - Gravia

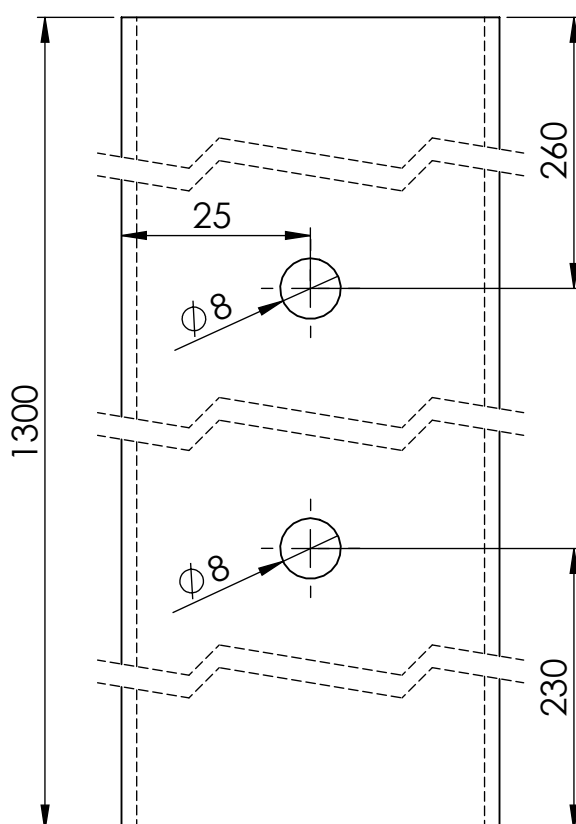
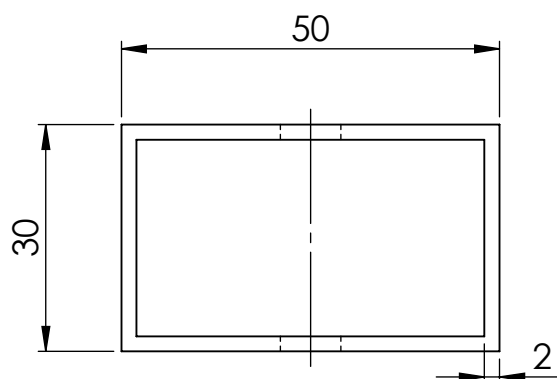
Universidade de Brasília	FT - Faculdade de Tecnologia	Material: ASTM A36	
	Projeto de Graduação	Código: GCCV1	
Projetista	Luiz Cezar Zacarias Filho		Data 26/06/2019
Desenhista	Luiz Cezar Zacarias Filho		
Unidade: mm	Barra vertical 1 - guarda corpo frontal		Escala: 1:1
			Folha: 14 de 24



OBS.: Tolerâncias não especificadas: 1 mm

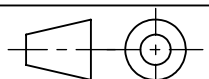
Perfil comercial - Gravia

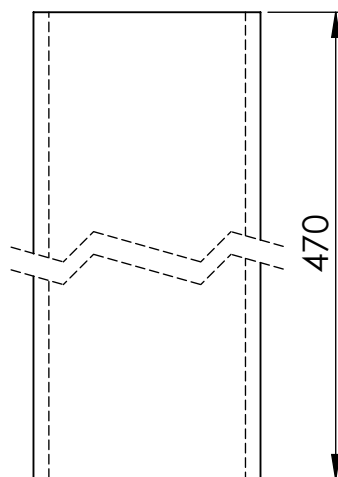
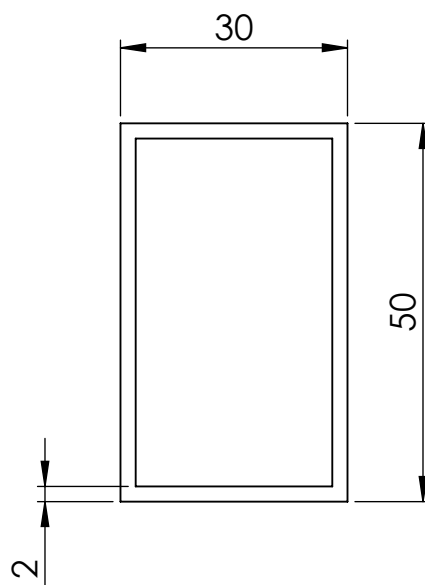
Universidade de Brasília	FT - Faculdade de Tecnologia	Material: ASTM A36	
	Projeto de Graduação	Código: GCH1	
Projetista	Luiz Cezar Zacarias Filho		Data 26/06/2019
Desenhista	Luiz Cezar Zacarias Filho		
Unidade: mm	Barra horizontal - guarda corpo		Escala: 1:1
			Folha: 15 de 24



OBS.: Tolerâncias não especificadas: 1 mm

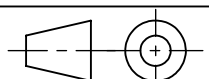
Perfil comercial - Gravia

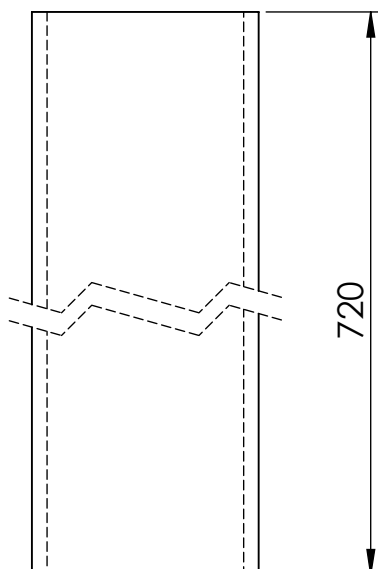
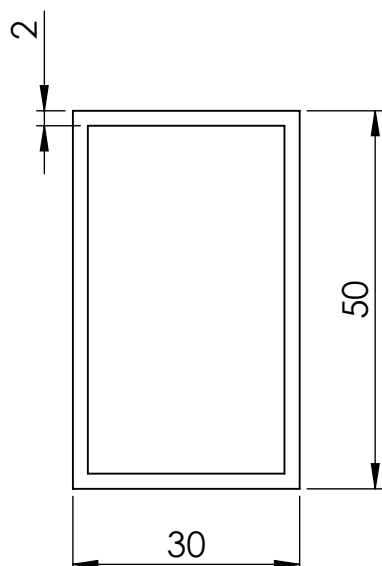
Universidade de Brasília	FT - Faculdade de Tecnologia	Material: ASTM A36	
	Projeto de Graduação	Código: GCV1	
Projetista	Luiz Cezar Zacarias Filho		Data
Desenhista	Luiz Cezar Zacarias Filho		26/06/2019
Unidade: mm	Barra vertical 1 - guarda corpo costas		Escala: 1:1
			Folha: 16 de 24



OBS.: Tolerâncias não especificadas: 1 mm

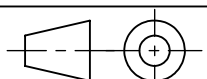
Perfil comercial - Gravia

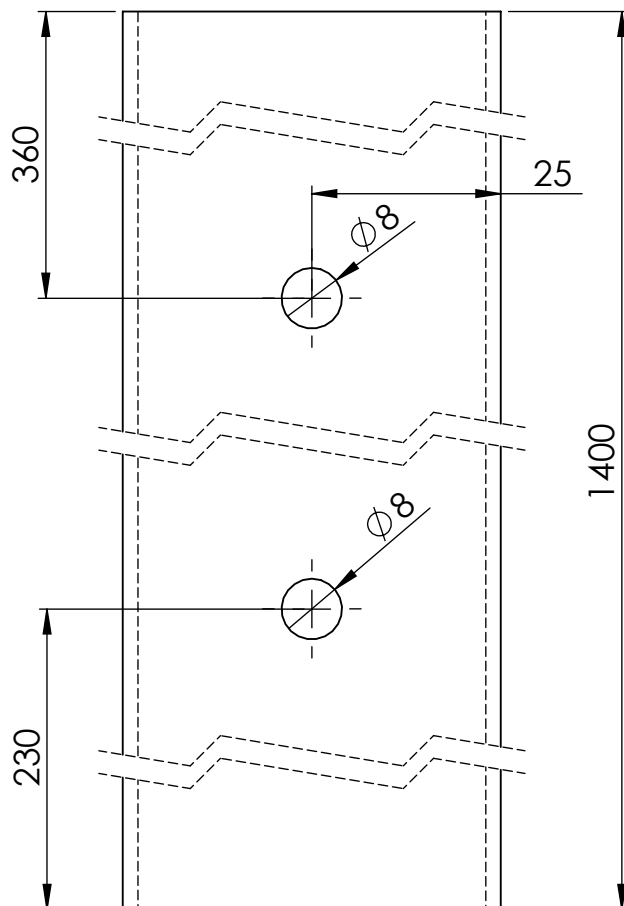
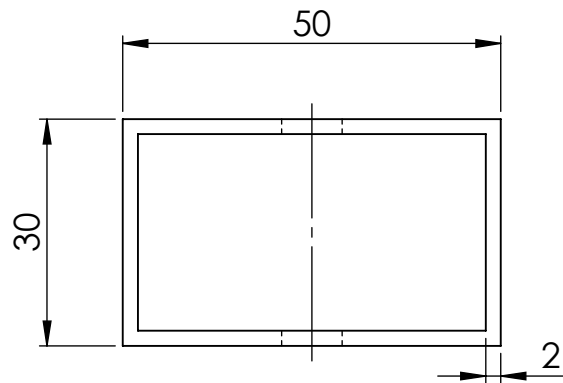
Universidade de Brasília	FT - Faculdade de Tecnologia	Material: ASTM A36	
	Projeto de Graduação	Código: GCV2	
Projetista	Luiz Cezar Zacarias Filho		Data
Desenhista	Luiz Cezar Zacarias Filho		26/06/2019
Unidade: mm	Barra vertical 2 - guarda corpo		Escala: 1:1
			Folha: 17 de 24



OBS.: Tolerâncias não especificadas: 1 mm

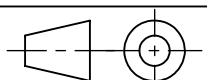
Perfil comercial - Gravia

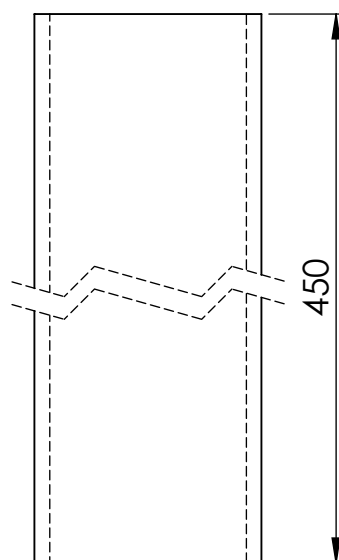
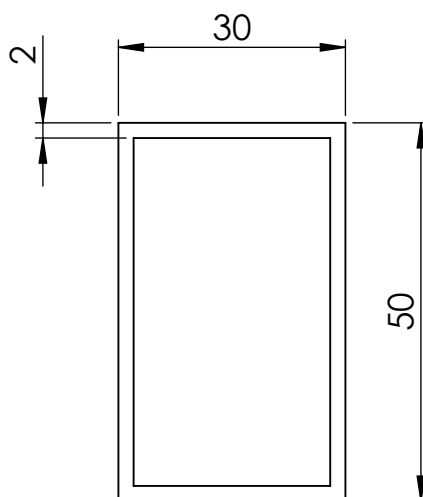
Universidade de Brasília	FT - Faculdade de Tecnologia	Material: ASTM A36	
	Projeto de Graduação	Código: L1	
Projetista	Luiz Cezar Zacarias Filho		Data
Desenhista	Luiz Cezar Zacarias Filho		26/06/2019
Unidade: mm	Barra horizontal 1 - guarda corpo lateral		Escala: 1:1
			Folha: 18 de 24



OBS.: Tolerâncias não especificadas: 1 mm

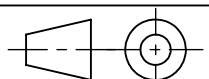
Perfil comercial - Gravia

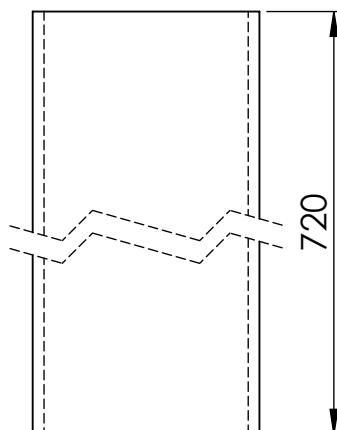
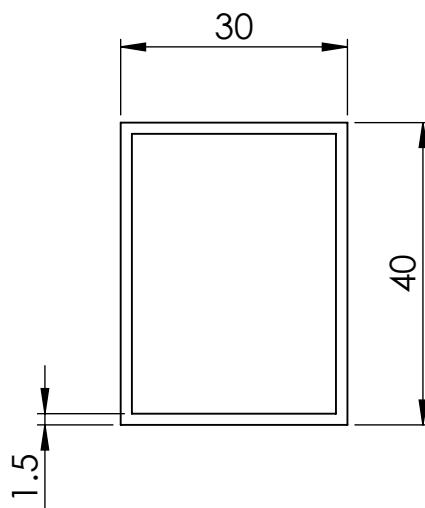
Universidade de Brasília	FT - Faculdade de Tecnologia	Material: ASTM A36	
	Projeto de Graduação	Código: L1V	
Projetista	Luiz Cezar Zacarias Filho		Data 26/06/2019
Desenhista	Luiz Cezar Zacarias Filho		
Unidade: mm	Barra vertical - guarda corpo lateral		Escala: 1:1
			Folha: 19 de 24



OBS.: Tolerâncias não especificadas: 1 mm

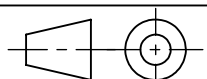
Perfil comercial - Gravia

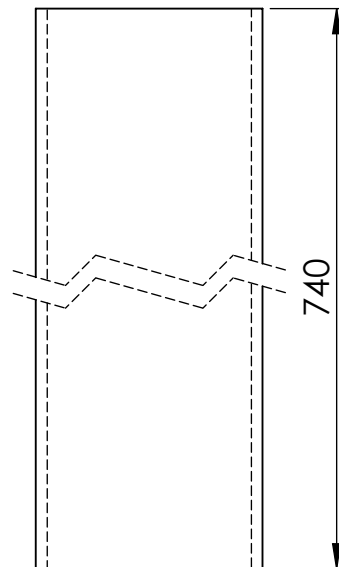
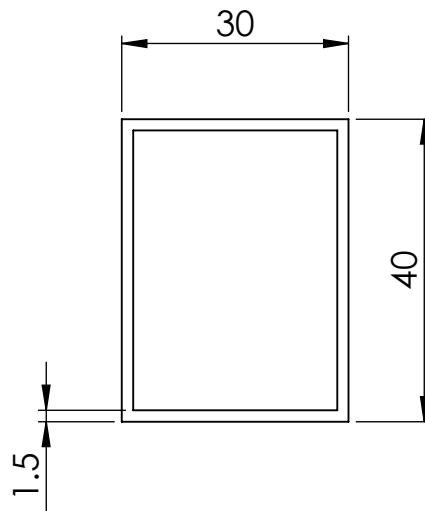
Universidade de Brasília	FT - Faculdade de Tecnologia	Material: ASTM A36	
	Projeto de Graduação	Código: L1V2	
Projetista	Luiz Cezar Zacarias Filho		Data 26/06/2019
Desenhista	Luiz Cezar Zacarias Filho		
Unidade: mm	Barra vertical 2 - guarda corpo lateral		Escala: 1:1
			Folha: 20 de 24



OBS.: Tolerâncias não especificadas: 1 mm

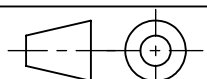
Perfil comercial - Gravia

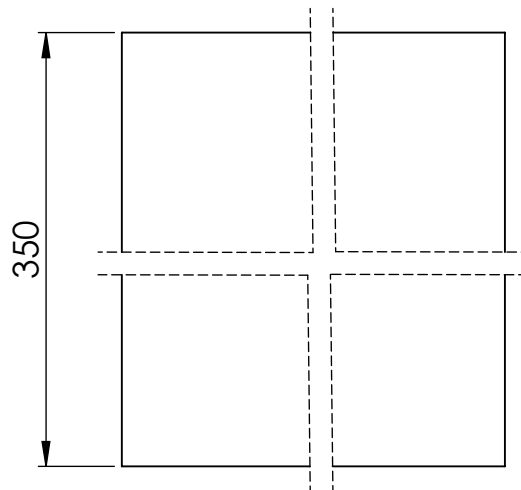
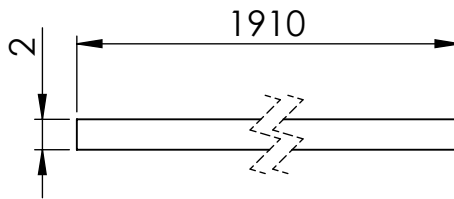
Universidade de Brasília	FT - Faculdade de Tecnologia	Material: ASTM A36	
	Projeto de Graduação	Código: TP2	
Projetista	Luiz Cezar Zacarias Filho		Data
Desenhista	Luiz Cezar Zacarias Filho		26/06/2019
Unidade: mm	Travessa Piso 2		Escala: 1:1
			Folha: 21 de 24



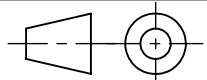
OBS.: Tolerâncias não especificadas: 1 mm

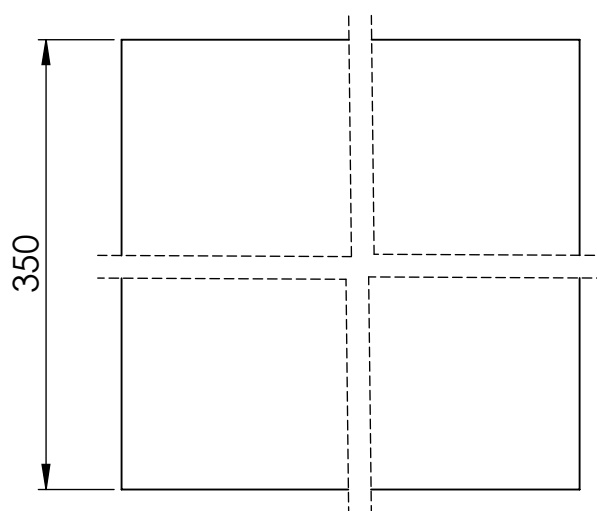
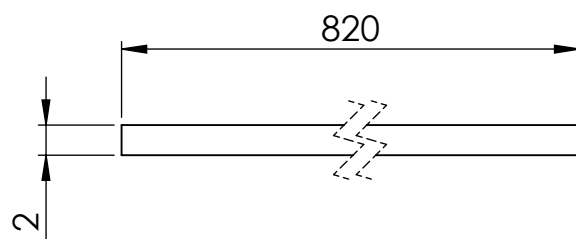
Perfil comercial - Gravia

Universidade de Brasília	FT - Faculdade de Tecnologia	Material: ASTM A36	
	Projeto de Graduação	Código: TP	
Projetista	Luiz Cezar Zacarias Filho		Data 26/06/2019
Desenhista	Luiz Cezar Zacarias Filho		
Unidade: mm	Travessa Piso		Escala: 1:1
			Folha: 22 de 24

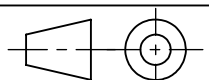


OBS.: Tolerâncias não especificadas: 1 mm

Universidade de Brasília	FT - Faculdade de Tecnologia	Material: ASTM A36	
	Projeto de Graduação	Código: RG	
Projetista	Luiz Cezar Zacarias Filho		Data 26/06/2019
Desenhista	Luiz Cezar Zacarias Filho		
Unidade: mm	Chapa de rodapé do guarda corpo		Escala: 2:1
			Folha: 23 de 24



OBS.: Tolerâncias não especificadas: 1 mm

Universidade de Brasília	FT - Faculdade de Tecnologia	Material: ASTM A36	
	Projeto de Graduação	Código: RF	
Projetista	Luiz Cezar Zacarias Filho		Data 26/06/2019
Desenhista	Luiz Cezar Zacarias Filho		
Unidade: mm	Chapa de rodapé lateral		Escala: 2:1
			Folha: 24 de 24